

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

Obor: Oděvní technologie

TVORBA ELEKTRICKY VODIVÝCH TEXTILNÍCH STRUKTUR

CREATION OF ELECTRICAL CONDUCTIVE TEXTILE STRUCTURES

Bc. Michaela Hanušová

KOD/2009/06/30 MS

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petra Komárková, Ph.D.

Rozsah práce a příloh

Počet stran: 122

Počet obrázků: 80

Počet tabulek: 9

Počet grafů: 12

Počet příloh: 6

V Liberci dne 25. 5. 2009

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním diplomové práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé diplomové práce a prohlašuji, že **s o u h l a s í m** s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že si svou diplomovou práci mohu vyzvednout v Univerzitní knihovně TUL po uplynutí pěti let po obhajobě.

V Liberci, dne 25. 5. 2009

Bc. Michaela Hanušová

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucí diplomové práce Ing. Petře Komárkové, Ph.D. za odborné vedení při zpracovávání práce. Děkuji také Ing. Bc. Vieře Glombíkové, Ph.D. za cenné rady a pomoc při zajišťování sítotisku.

Za poskytnuté materiály děkuji Robertu Haasovi z firmy Sitaservis, Tomáši Spěšnému z firmy Sitexim. Chtěla bych také poděkovat Miloslavu Zajíčkovi za pomoc v počáteční fázi práce a Viktoru Vichovi za pomoc a cenné rady v experimentální části práce.

V neposlední řadě patří poděkování také mé rodině, která mě podporovala a pomáhala mi při studiu.

A N O T A C E

Tato diplomová práce představuje elektrotextilie, které jsou vytvořené nanesením elektricky vodivých komponent na textilii. Elektrotextilie jsou novou generací ohebných a multifunkčních textilních struktur.

Teoretická část práce je zaměřená na průzkum textilních inteligentních struktur a možnost jejich výroby.

Experimentální část je zaměřená na tvorbu elektricky vodivých drah technologií sítotisku pomocí elektricky vodivé pasty.

Součástí práce je ověření schopnosti vodivých drah odolávat mechanickému namáhání na ohyb a tlak. Stabilita elektrických vlastností je ověřena při různých hodnotách vlhkosti, které simulují reálné prostředí.

K L Í Č O V Á S L O V A

Elektrický odpor

Elektronická textilie

Inteligentní textilie

Klávesnice

Sítotisk

Vodivá dráha

Vodivá pasta

ANNOTATION

This thesis represents electrotexiles, that are created by striking electrical conductive components onto fabrics. Electrotexiles are new generation of flexible and multifunctional textile structures.

Theoretical part is oriented at research of textile intelligent structures and possibility of their production.

Experimental part is directed on the production of electrical conductive circuits by technology screen printing with the electrical conductive paste.

Component of this work is attestation of ability conductive circuits to resist mechanical strainings of bending and compression. Stability of electrical properties is tested by different values of moisture, which simulate real environment.

KEY WORDS

Electrical resistance

Electronic textile

Intelligent textile

Keypad

Screen printing

Conductive circuit

Conductive paste

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	ampér, základní fyzikální jednotka elektrického proudu
apod.	a podobně
atd.	a tak dále
CAD	Computer-aided design – počítačová podpora tvorby konstrukční dokumentace
cm	centimetr - jednotka délky, 10^{-2} nebo 1 setina metru
č.	číslo
g	gram, jednotka hmotnosti, 10^{-3} nebo 1 tisícina kilogramu
I	elektrický proud, fyzikální veličina, která vyjadřuje množství náboje prošlého za jednotku času
Inc.	Incorporated – z anglického jazyka = akciová společnost
KES – FB	Kawabata Evolution System for Fabric – systém umožňující testování šesti základních mechanických vlastností plošných textilií (tah, smyk, ohyb, stlačitelnost, koeficient tření a drsnost)
KES – FB2	Kawabata Evolution System for Fabric – přístroj pro měření ohybových vlastností
KES – FB3	Kawabata Evolution System for Fabric – přístroj pro měření stlačitelnosti
m	metr, základní jednotka délky
min	minuta, jednotka času, 1 minuta = 60 sekund
MIT	Massachusetts Institute of Technology
mm	milimetr - jednotka délky, 10^{-3} nebo 1 tisícina metru
např.	například
nm	nanometr - jednotka délky, 10^{-9} nebo 1 miliardtina metru
obr.	obrázek
pH	kyselost - chemická veličina
PDA	Personal Digital Assistant – osobní digitální pomocník, kapesní počítač
PET	polyethylen
R	elektrický odpor – odpor, který klade látka průchodu elektrického proudu, jednotka ohm

R_s	odpor materiálu měřený mezi dvěma elektrodami umístěnými na jeho povrchu, jednotka ohm
resp.	respektive
sv.	světlý
tab.	tabulka
tj.	to je
tm.	tmavý
tzv.	tak zvaný
U	elektrické napětí – práce vykonaná elektrickými silami při přemístování kladného jednotkového elektrického náboje mezi dvěma body prostoru, jednotka ampér
UV	ultrafialové záření
V	volt – odvozená fyzikální jednotka elektrického napětí
%	procento
§	paragraf
°C	stupeň Celsia – jednotka teploty
®	ochranná známka
Ω	ohm – jednotka elektrického odporu
μm	mikrometr – jednotka délky, 10^{-6} nebo 1 milióntina metru
3D	troj-dimenzionální, označuje svět, který je možné popsat třemi směry

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. INTELIGENTNÍ TEXTILIE	12
2.1 Textilní čidla a snímače	16
2.1.1 <i>Vláknová čidla</i>	16
2.1.2 <i>Textilní snímače</i>	17
2.2 Příklady textilních inteligentních struktur	18
2.2.1 <i>Softswitch</i>	18
2.2.2 <i>MIT</i>	19
2.2.3 <i>Peratech</i>	19
2.2.4 <i>Eleksen</i>	20
2.2.5 <i>Logitech</i>	21
2.3 Příklady inteligentních struktur ve spojení s oděvem.....	23
2.3.1 <i>Softswitch</i>	23
2.3.2 <i>Eleksen</i>	25
2.3.3 <i>Erik De Nijs</i>	29
2.3.4 <i>Applycon</i>	331
3. TVORBA VODIVÝCH TEXTILNÍCH STRUKTUR	324
3.1 Elektronická výšivka.....	34
3.1.1 <i>Vodivé příže</i>	34
3.1.2 <i>Metody výroby vodivých vláken, přízí</i>	36
3.1.3 <i>Vodivé polymery</i>	37
3.2 Textilní tisk	41
3.2.1 <i>Sítotisk</i>	41
3.2.2 <i>Vodivé pasty</i>	40
3.3 Vetkání vodičů přímo do textilií.....	41
3.4 Pokovení povrchu textilie	43

4. EXPERIMENT	45
4.1 Příprava vzorků.....	47
4.1.1 Volba materiálů pro tisk vodivou pastou.....	47
4.1.2 Návrh vodivých cest vektorovou grafikou – příprava síta.....	50
4.1.3 Příprava vodivé pasty	56
4.1.4 Tisk – sítotiskem pomocí vodivé pasty na tiskacím stole	57
4.2 Ověření funkčnosti, mechanické odolnosti klávesnice a stability vlastností...	63
4.2.1 Měření elektrického odporu jednotlivých vzorků.....	63
4.2.2 Mechanické zkoušky – ohyb a tlak – následné měření odporu.....	70
4.3 Ověření stability - změnou vlhkosti prostředí na vodivost pasty, následné měření odporu	81
4.3.1 Měření elektrického odporu po působení 44% vlhkosti.....	82
4.3.2 Měření elektrického odporu po působení 55% vlhkosti.....	87
4.3.3 Měření elektrického odporu po působení 69% vlhkosti.....	91
4.4 Diskuse výsledků z měření jednotlivých vzorků	94
4.5 Praktické sestavení klávesnice	96
4.5.1 Měření elektrického odporu sestavené klávesnice.....	101
4.5.2 Teoretické zapojení klávesnice do oděvu.....	105
5. ZÁVĚR	109
 SEZNAM LITERATURY	 112
SEZNAM OBRÁZKŮ	116
SEZNAM TABULEK.....	119
SEZNAM GRAFŮ	120

1. Úvod

V současné době se textilní průmysl zabývá nejvíce rozvojem inteligentních textilií („smart“ textilií). Neustále se vyvíjejí nové materiály, technologie jejich výroby a možnosti jejich využití.

K rozvoji v oděvním průmyslu dochází hlavně u oděvů, které mají plnit speciální funkce. Ať už tyto funkce souvisí s komfortem oděvu nebo tvoří funkci ochrannou před vnějším prostředím (ochrana vůči teplu či naopak chladnu, různým druhům záření, chemikáliím, bakteriím, virům, ...). Funkce, které souvisí s komfortem, zlepšují např. omak, vzhled textilie, mohou ze své struktury uvolňovat vůni či pohlcovat pachy.

V současnosti existuje mimo oděvů i celá řada technických textilií, které mají speciální funkce. Využívají se hlavně v medicíně, armádě, jako filtrační tkaniny, ve sportovním odvětví. Využívají se jak klasické tak i speciální materiály a vlákna.

Rozvíjí se také oblast, ve které se do textilií integrují elektrotechnické součástky. Vytvářejí se tak tzv. oblékací počítače (wearable computers) či oblékací elektronika (mobilní telefony, přehrávače, aj.). Pro tuto oblast se používají speciální materiály – jako vodivá vlákna – či vlákna z vodivých polymerů.

Textilie je také možné použít na výrobu oděvní elektroniky, kdy je oděv jako aktivní součást. Patří sem textilní klávesnice a klaviatury, displeje, indikátory, atd.

Všechny tyto aplikace využívají textilní technologii pro přípravu speciálních struktur již ve fázi předení, tkaní, pletení, výroby netkaných textilií, aj. Výsledné textilní struktury jsou díky tomu tvarovatelné, ohebné, dají se snadno spojovat a oddělovat. Mají také relativně malou hmotnost vzhledem ke klasickým materiálům, jako jsou např. kovy.

Elektronické systémy se mohou integrovat do oděvu v jakémkoliv jeho místě. Poté se přímo připojí ke konkrétním komunikačním či senzorickým sítím. Textilie však musí zůstat ohebné, poddajné, musí být pratelné a estetické.

Tyto sítě se mohou do textilie integrovat různými způsoby. Mezi nejběžnější patří vetkání či vpletení vodivých nití do textilní struktury. Vodivé nitě se také integrují na textilií pomocí textilní výšivky. Další možností je použití vodivých past pro tisk na textilní substrát. Neustále se však vyvíjejí a zkoušejí různé netradiční postupy takovéto integrace.

Tato práce je zaměřená na tvorbu vodivých drah pomocí vodivých past, které se na textilií nanášejí technologií sítotisku. Na základě experimentů a zkoušek je ověřena funkčnost, mechanická odolnost a stabilita elektrických vlastností. Mechanická odolnost je hodnocena při namáhání na ohyb a tlak. Stabilita elektrických vlastností je ověřena při určitých hodnotách relativní vlhkosti prostředí, které charakterizují reálné prostředí. Získané výsledky jsou dále vyhodnoceny.

2. Inteligentní textilie

V souvislosti s novými materiály a strukturami se používají pojmy jako „smart“, „inteligentní“, které mají indikovat rozdíl oproti tradičním materiálům a strukturám (označovaným někdy jako „stupid“). Inteligentní (smart) nemohou být samotné materiály. Ty mají pouze zvláštní vlastnosti využitelné pro konstrukci inteligentních struktur. Jako inteligentní se pak označují takové struktury, které jsou schopny samostatně vyhodnotit stav okolí a vhodně na něj reagovat. Nejde však v pravém slova smyslu o kognitivní systémy, protože se nevolí z různých možností reakce. [1]

Jako inteligentní (smart) textilie jsou označovány textilní struktury, které jsou citlivé na vnější podněty (různé typy záření, pH, mechanické, magnetické, resp. elektrické pole) a v závislosti na změnách těchto podnětů reagují vratně (obvykle změnou tvaru nebo barvy). Podle způsobu reakce na vnější podněty se tyto textilní struktury ještě dále dělí na:

pasivní inteligentní textilie, které jsou citlivé pouze na vnější podněty. Sem patří celá řada textilií, které fungují jako čidla a indikátory stavu okolí. Příkladem jsou optická vlákna, která nejen přenášejí světelný signál, ale jsou citlivá na deformaci, koncentraci chemikálií, tlak, zrychlení, elektrický proud, magnetické pole atd.,

aktivní inteligentní textilie, které jsou schopné nejen identifikovat změnu vnějšího podnětu, ale také na tuto změnu reagovat. Příkladem jsou textilie měnící barvu v závislosti na teplotě (chameleonní), teplo regulující textilie (schopné uložení, resp. uvolnění tepelné energie podle změn teploty okolí, textilie s tvarovou pamětí) s reverzibilními změnami tvaru při ohřevu, resp. chlazení), textilie s adaptivní prodyšností a propustností pro vodní páry a textilie stabilizující teplotu. [1]

U aktivních inteligentních textilií se ještě vyděluje skupina vysoce aktivních textilií, které jsou kromě indikace a reakce na změnu podmínek okolí, také schopné přizpůsobení změněným podmínkám. Zajímavé je to, že mezi pasivní inteligentní textilie patří také součásti, tzv. oděvní a oblékací elektroniky, resp. oděvních a oblékacích počítačů, které se většinou v praxi považují za typické inteligentní textilie.

Textilie zde může být jak nosičem, tak i součástí elektronických zařízení, což umožňuje její napojení na externí systémy umělé inteligence. Je tedy patrné, že některé inteligentní textilie splňují alespoň v omezené míře požadavky kladené na systémy umělé inteligence. [1]

Nová vlákna a textilie jsou vyráběna v nanorozměrech, takže umožňují vytvářet nové inteligentní textilní struktury. Vytváří se tak nový obor inteligentních výrobků a interaktivních textilií. [2]

V řadě případů se inteligentní textilie používají jako oděvní textilie zajišťující špičkový komfort nebo usnadňující komunikaci, resp. použití běžných elektronických přístrojů. Důležité jsou také pro vojenské účely. Jejich využití je také v oblasti neoděvních aplikací nebo materiály fungující jako inteligentní filtry a separátory. Široké využití mají také v oblasti medicíny. [1]

Definice inteligentních textilních oděvů se nikterak neliší od definice inteligentních textilií, neboť jsou vytvořeny a navíc jsou integrovány s elektronickými prvky a výpočetní technikou. Reagují na podněty vnějšího okolí a přizpůsobují se vnějším podmínkám. Podněty jsou většinou převáděny na elektrické pulsy a dále zpracovány.

V první generaci inteligentních textilních oděvů byla čidla a celá elektronika vkládána do textilií jako přídatná zařízení, přičemž nedocházelo k jejich integraci s textiliemi.

Teprve v druhé generaci byly elektronické prvky převedeny rovněž v textilní složky. K tomu je třeba zajistit čidla, procesory, atenuátory, dodávky energie, sběrače údajů a jejich zpracování v textilním provedení. Tyto všechny prvky je třeba vyvinout v textilní podobě, tj. snadno ohýbatelné, pratelné a s dalšími vlastnostmi textilií. [2]

Inteligentní textilie se používají, resp. mohou používat jako:

- nosiče pohyblivých multimediálních technologií,
- prostředky bezdrátové komunikace,
- přenosné počítače,
- aktivní dávkovací systémy – umožňují uvolňování různých substancí od kosmetických látek a léčiv přes vitaminové doplňky až k ochranným prostředkům proti hmyzu, bakteriím, virům apod. z oděvních textilií,
- materiály pro diagnostikování poruch funkcí lidského organismu v oblasti medicíny s využitím bariérových schopností,
- monitorování stavu člověka, životního prostředí,
- inteligentní čidla pachů, plynů a bakterií ve vzduchu nebo ve vodě,
- čidla mechanického působení, jako součást kontrolního systému nemocných osob nebo sportovců,
- informační technologie, kde textilie kromě elektronických funkcí – náhrada klávesnice, dotykových podložek, desek plošných spojů, displejů a nosičů spotřební elektroniky – slouží k ukládání dat, elektrické energie a jako nosiče mikromechanických systémů,
- adaptivní materiály, měnící v závislosti na podmínkách okolí a stavu člověka strukturu, odstín, omak a další charakteristiky,
- textilie pro vojenské účely – jde zejména o ochranu vůči extrémním klimatickým podmínkám, znesnadnění identifikace – kamufláž, indikace bojových plynů, bakterií, virů a ochranu proti nim, bariéry vůči magnetickým a elektrickým polím a záření různých délek. [1]

Ve všech těchto aplikacích se využívá toho, že textilní struktury jsou:

- snadno upravitelné spojováním (šitím) a rozebíráním (páráním),
- snadno udržovatelné (např. praním),
- málo hmotné,
- dostatečně pevné, tažné a pružné,
- jednoduše formovatelné podle potřeb použití,
- charakteristické extrémně velkým měrným povrchem,
- mají poměrně nízkou cenu ve srovnání s ostatními technologiemi. [1]

Jednou z mohutně se rozvíjejících oblastí jsou smart textilie pro elektronické aplikace. Jedná se například o textilní klávesnice a klaviatury, displeje, indikátory, nebo o tzv. oblékací počítače (wearable computers) a oblékací elektroniku (mobilní telefony, přehrávače atd.). Používají se zde speciální materiály, vlákna z vodivých polymerů či kovová vlákna. Tyto aplikace využívají textilní techniky pro přípravu speciálních struktur, které jsou charakterizovány relativně snadnou tvarovatelností, jednoduchými způsoby spojování a oddělování a nízkou hmotností v porovnání s klasickými materiály, jako jsou například kovy. Elektronické textilie pro wearable computing poskytují značně větší prostor než materiály, které představují tradiční tuhé tištěné deskové elektrické obvody. Pružné desky s elektrickým obvodem, které jsou kompaktní a s vysokou hustotou elektrického spojení, nabízejí značně menší hmotnost, úsporu místa a financí. Elektronické textilie musí být ovšem také poddajné, pratelné, kompatibilní s lidskou kůží a esteticky přijatelné. [3]

Elektronické textilie jsou většinou vodivé díky vetkání nebo vpletení vodivých přízí do textilní struktury během procesu výroby. Jednou z dalších možností, jak vytvořit flexibilní, pružné elektrické obvody, je použití vodivých inkoustů (past) k tisku na textilní substráty. Uplatňuje se také elektronická výšivka. Jde v podstatě o zabudování elektronických systému přímo do oděvu. [3]

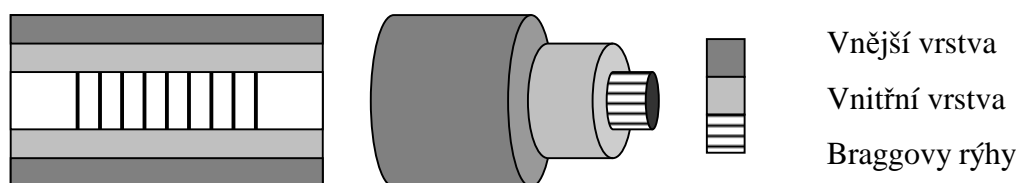
2.1 Textilní čidla a snímače

Do této skupiny patří textilní struktury, které jsou schopné indikovat změnu stavu, resp. podmínek okolí. Mohou být využity jak v oděvních textiliích, tak v technických textiliích a kompozitech nebo speciálních zařízení pro monitorování a indikaci různých veličin. [4]

2.1.1 Vláknová čidla

Hlavním představitelem vláknových čidel jsou optická vlákna, která mohou indikovat řadu změn externích polí. Vyrábějí se buď na základě křemíku nebo speciálních polymerů. Mají širokou oblast použití od přenosu optického signálu, přes přenos informace o změnách teplotních, mechanických, magnetických a dalších polí, resp. informace o přítomnosti chemických látek.

Základním požadavkem je zde schopnost indikace lokalizované změny. To nesplňují klasická čidla na bázi optických vláken využívající Zenderova interferometru, které poskytují odezvu na fyzikální výkyvy působící v celé struktuře. Je nutné použít principů interferometrů Fabry Perrota, nebo Braggovy rýhy na optických vláknech. [4]



Obr. 1 Schematické zobrazení optického vlákna s Braggovými rýhami [4]

Pro výrobu vláken s Braggovými zářezy se obvykle používá germaniem dopované jednomódové vlákno. Pro přípravu zářezů se používá obvykle UV laserů. Délka zářezů se pohybuje kolem 1 – 20 μm . Když světlo ozáří Braggovy zářezy, dojde k jeho částečnému odrazu a průchodu.

Optická vlákna s Braggovými rýhami se dají poměrně snadno umístit do textilních struktur, jako jsou příze, tkaniny, lana, atd. Jsou popsány textilní snímače teploty, deformace a kroucení založené na těchto optických vláknech. [4]

2.1.2 Textilní snímače

Pro realizaci snímačů polohy (souřadnic) nebo různých přepínačů na bázi textilních struktur se používá nejen optických vláken, ale také vodivých vláken. Obvykle se vyhodnocuje poloha v místech, kde je textilie stlačena. [4]

Tactex Control Inc. vyvinula tlakově citlivou textilií TACTEX využívající speciálních čidel na bázi optických vláken. Hustá síť těchto vláken je obklopena neformovatelnou polymerní pěnou. Místním stlačením dojde k deformaci optických vláken a tím ke změně dráhy světelných paprsků a jejich odrazu. Je tedy možno rozlišit jak polohu, tak sílu přítlaku. Tyto textilie se využívají zejména pro různé typy klávesnic a tlakových hlásičů.

U materiálu firmy Peratech jde o elastomerní materiál obsahující jemné částice kovů. Tyto částice nejsou v nedeformovaném stavu v kontaktu, takže je materiál nevodivý. Při deformaci (stlačení, kroucení, protahování) se postupně částice přibližují až spojují, což má za následek spojitý pokles odporu až k vodivé struktuře. [4]

2.2 Příklady textilních inteligentních struktur

2.2.1 Softswitch

Textilní snímače polohy a tlaku se používají jako tkané displeje, přepínače a informační podložky (dotykové podložky počítačů). Textilní snímače jsou také vhodné pro různé typy her nebo jako náhrada klávesnic u hudebních nástrojů.



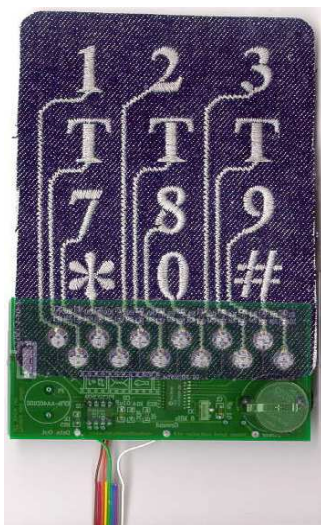
Obr. 2 Tkaná klávesnice SOFTSWITCH [4]

Klávesnice na obr. 2 byla vyšita nitěmi z nerez oceli a polyesterových kompozitů. Je vysoce citlivá na dotek, čímž umožňuje uživateli hrát jednotlivé tóny, akordy nebo rytmus.

Materiály *Softswitch* jsou citlivé na dotyk – při mechanickém překroucení či stlačení se tlak projeví velkou změnou elektrického odporu, který je úměrný použité síle. Tato úměrná reakce dovoluje materiálům *Softswitch* použití jako přepínače či tlakové senzory, které reagují od nejjemnějšího dotyku až po nejsilnější úder. Při užívání si přepínače udržují výhody textilií – pratelnost, ohebnost, trvanlivost, přizpůsobivost a také módní styl. [5]

2.2.2 MIT

MIT vyvinula textilní klávesnici, která je vyšívána z kevlaru a ocelových drátků. Ta využívá čidla elektrického náboje pro rozlišení místa dotyku. Každé vyšité číslo je možno aktivovat stlačením. [6]



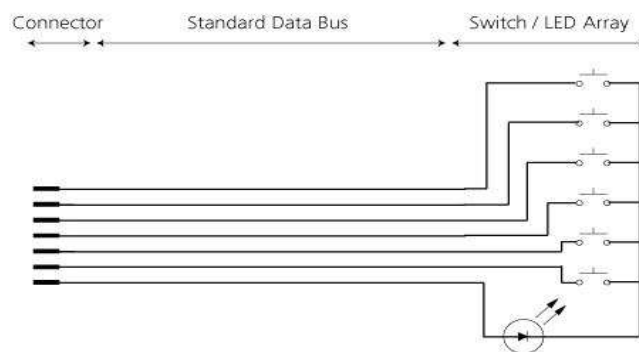
Obr. 3 Vyšívaná klávesnice MIT [6]

2.2.3 Peratech

Díl s tlačítka je vyroben ze dvou či tří vrstev netkané polyesterové textilie, které jsou spojeny pomocí adheziva technologií hot-melt. Jako vodiče jsou použity stříbrem opředené nylonové příze.

Spoje jsou v textilií zpevněny epoxidovým adhezivem pomocí technologie hot-melt nebo jsou natištěny (záleží vždy na aplikaci).

Celkový díl pak může být nalepen či přišit na finální kus oděvu či textilií. [7]



Obr. 4 Příklad uspořádání spojů [7]

2.2.4 Eleksen

Tyto dotekové podložky jsou vyrobeny tak, aby se daly velmi dobře umístit do produktu a snadno používat, přičemž bude zachován vysoký stupeň flexibility a trvanlivosti.

Tyto dotykové textilní podložky jsou 100% textilní, odolné, prateľné, flexibilní a mají malou hmotnost. [8]



Obr. 5 ElekTex textilní dotykové podložky [8]



Obr. 6 Způsob zjišťování bodů x a y, celkový pohled [9]

U textilní klávesnice ElekTex je možné indikovat pozici ve směrech os x, y i z. Senzory jsou odolné až 50 pracích cyklů do 60 °C, tloušťka je kolem 1 mm, odolávají teplotám v rozmezí -40 až 70 °C a až 1,000.000 stlačení jedné klávesy. [9]

2.2.5 Logitech

Logitech s textilní klávesnicí přišel na trh již v březnu roku 2002. Tato klávesnice využívá technologii ElekTex. Klávesnice je velmi lehká, ohebná a používá se pro připojení PDA. Slouží také jako obal pro PDA. [10]



Obr. 7 Textilní klávesnice Logitech [11]

Pro jiný typ těchto textilních klávesnic je možné použít vodivá uhlíková vlákna. Struktura těchto materiálů nabízí možnost čtení polohy na štítku výrobku a bodu přitlaku jako např. přitlak prstu. Je možné umístit takové značkování do elastické fólie, která umožňuje přizpůsobit ji do trojrozměrného (3D) tvaru a přesně měřit polohu v souřadnicích X–Y. [2]

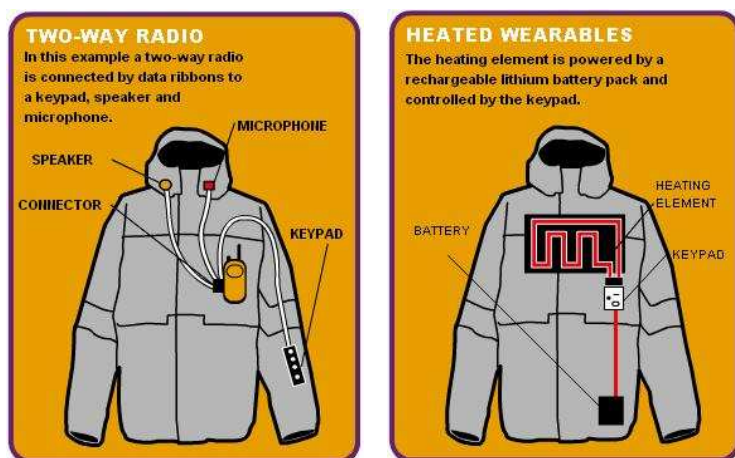
2.3 Příklady inteligentních struktur ve spojení s oděvem

2.3.1 Softswitch

Softswitch využívá technologii Bluetooth. Výhodou, kterou pro uživatele přináší je zejména mnohostrannost zapojení elektroniky do textilního substrátu při využití všech výhod bezdrátového Bluetooth připojení. [12]



Obr. 8 Ukázky zapojení ovládacích tlačítek k přehrávači [13]

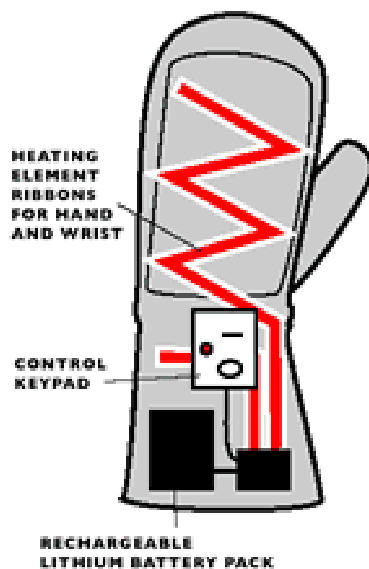


Obr. 9 Ukázky zapojení ovládacích tlačítek k vysílači a vyhřívání [13]

Technologie Softswitch se používá pro integrování elektroniky do:

- sportovních oděvů,
- snowboardových iPod bund,
- oděvů využívaných pro komunikaci,
- oděvů, které hřejí,
- oděvů pro vojáky,
- oděvů pro osobní zdravotnickou péči,
- inteligentní batohy. [13]

Integrovaná technologie vyhřívání – tento systém je jednoduše poháněn. Možnost být k dispozici v mnoha druzích oděvů a konfiguracích dělá z tohoto řešení vytápění skvělou volbu pro každého „outdoorového“ nadšence. Tento systém je velmi lehký a v oděvu prakticky neviditelný. Je kompatibilní s různými zdroji energie a je k dispozici i zařízení, který uchová energii v případě tzv. oddechového času. [14]



Obr. 10 Vyhřívání rukavice [14]

2.3.2 Eleksen

Jedním z výrobků je bunda **Kenpo**, která má fleecovou vnitřní vrstvu. Bunda je voděodolná, větruodolná s iPod tlačítky.



Obr. 11 Bunda Kenpo s tlačítky na rukávu [15]

Mikina **Zegna** – je sportovní mikina využívající technologii ElekTex pro připojení MP3 přehrávače.



Obr. 12 Mikina Zegna s tlačítky na rukávu [15]

Také firma O`Neill využívá technologii ElekTex. Jejich bundy využívají bateriemi napájené obvody.



Obr. 13 Sportovní zimní bundy značky O`Neill s integrovanými tlačítky [15]



Obr. 14 Tlačítka na popruhu batohu firmy O`Neill [16]

Tato trička firmy Urban Tool jsou vyrobená tak, aby se do nich mohl integrovat iPod, který se umísťuje do speciální kapsičky, a mohl se ovládat pomocí inteligentních textilních stykových ploch na samotném tričku. iPod se dá spouštět, vypínat, ovládat jeho hlasitost a vybírat jednotlivé skladby.



Obr. 15 Trička Urban Tool [15]

Technologii ElekTex využívá také firma Spyder na svých bundách. Textilní tlačítka pro ovládání iPodu jsou umístěna na rukávu. Samotný iPod je umístěn v chráněné kapse.

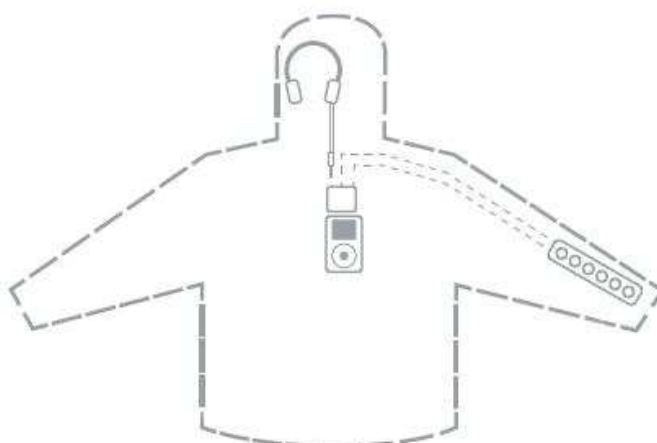


Obr. 16 Bundy firmy Spyder [15]

Textilní klávesnice se dá integrovat nejen do sportovních oděvů, ale také společenských, jako u obleků firmy Marks & Spencer a obleků firmy Bagir.



Obr. 17 Oblek firmy Marks & Spencer a Bagir [15]



Obr. 18 Způsob zapojení senzoru do oděvu ElekTex [17]

Jedním ze zajímavých oděvů jsou první cyklistické kalhoty s integrovaným MP3 přehrávačem a technologií Bluetooth. Klávesnice je umístěna na nohavici. Výrobce těchto kalhot je firma Pearl Izumi.



Obr. 19 Cyklistické kalhoty Pearl Izumi [15]

2.3.3 Erik De Nijs

Žhavá novinka - džíny amerického návrháře Erika De Nijse - mají v rozkroku umístěnu plně funkční klávesnici. Pracovat na ní je tak možné téměř kdekoli, kde je možné připojit se k počítači či notebooku přes bluetooth. K džínům se prodává rovněž přenosná myš, kterou lze nosit v kapse. [18]



Obr. 20 Kalhoty návrháře Erika De Nijse [18]



Obr. 21 Detail kalhot návrháře Erika De Nijse [19]

2.3.4 Applycon

Obleky umožňující poslech hudby, telefonování, ovládání kamery, odolné bundy se solárními články, světelnými zdroji, GPS anténou a senzory, které reagují na venkovní podněty, vyvíjí a vyrábí plzeňská firma Applycon.

Obleky využívají extrémní sportovci, záchranáři, pracovníci rafinerií, i pacienti v nemocnicích. Mezi první odběratele Applyconu patřily firmy z módního a zábavního průmyslu, které ověřily, jak zareaguje široká veřejnost na nové možnosti textilního průmyslu a oděvů. Od loňského roku se firma chce prosadit v oděvech a uniformách pro náročná povolání.

Pomocí oděvu, který má v límci citlivý mikrofón a klávesnici na rukávu, lze telefonovat, do bundy je možné zapojit topné systémy, solární články na dobíjení elektroniky, senzory reagující na venkovní podněty. Lidé mají volné ruce na práci, přitom komunikují s okolím. Mohou být sledovány jejich životní funkce. Oděv umí vydávat radiové, zvukové i vizuální signály. Záchranáři mohou využít kameru, která monitoruje zásah.

S oděvem obsahujícím celý systém lze prý zacházet nešetrně, může se prát i ždímat. [20]

3. Tvorba vodivých textilních struktur

Vodivé cesty mohou být obecně na textilie tvořeny několika způsoby:

- tvorba vodivých cest technologií vyšívání,
- tvorba vodivých cest technologií textilního tisku,
- zatkáním vodivých nití a přízí přímo do textilie,
- pokovením povrchu textilie.

3.1 Elektronická vyšívka [6, 21]

Použitím vodivých přízí mohou být na textilních substrátech vytvořeny vysoce odolné, pružné a dokonce pratelné mnohvrstvé elektronické systémy obvodů. Elektronická vyšívka je vytvořena vzorováním vodivé textilie.

Šité nebo vyšívané elektrické obvody zahrnují textilní elementy (vodivé příze, vlákna a textilní substráty), které pracují jako vodivé cesty, senzory, elektrody a diskrétní komponenty (např. rezistory a kondensátory). Ideální vlákno nebo textilie pro elektrický obvod musí mít dokonale přizpůsobitelné vlastnosti a tyto vlastnosti by si měly udržet i při procesu šití, při ohýbání a při nošení.

Základem realizace kvalitních vodivých drah pomocí technologie vyšívání a šití je správné nastavení parametrů vytvořené vyšívky vzhledem k vlastnostem šitého a šicího materiálu. Pro úspěšnou realizaci tvorby vodivých drah je nutné provést nejen experimenty zaměřené na vlastnosti týkající se vodivosti, ale také experimenty zaměřené na správnou tvorbu stehu.



Obr. 22 Vyšívací automaty [22]

Technologie vyšívání využívá několik typů materiálů pro tvorbu elektricky vodivých drah.

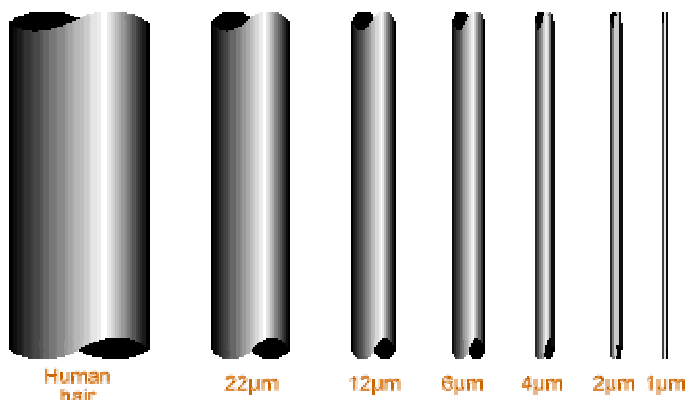
- *Vodivé příze* – vodivá nerezová ocelová příze (vlákno) je inertní – netečná, a tudíž není náchylná k poškození při praní nebo pocení. Tyto příze se liší svým složením. Od stoprocentně vodivých nekonečných vláken k výrobě plstí až k polyesterovým kompozitům vyplněným krátkými ocelovými vlákny. Vodivost těchto přízí je omezena vlastní vodivostí nerezových ocelových vláken, která je závislá na procesu jejich výroby a na jejich průměru a jemnosti. Kompozitní příze s krátkými ocelovými vlákny a polyesterem mohou být vybrány pro strojní vyšívku z toho důvodu, že příze z nekonečných ocelových vláken nemůže být použita pro strojní šití. Protože jsou ocelová vlákna krátká a vyčnívají z příze, mohou mezi šitými vodivými cestami existovat elektrické spojení. To může být napraveno úpravou povrchu textilie magnetem pokrytým houbou. Výborný kontaktní povrch je důležitý např. pro dotyková tlačítka vytvářející kontakt s deskou elektrického obvodu (jako u hrací bundy), určená pro kontakt s kůží pro snímání hodnot a kontakt mezi oddělenými vlákny a vodivými cestami (obzvláště v případě vícevrstvých elektrických obvodů vytvořených technologií vyšívání).

- *Kompozity* – vytvořené elektronickou výšivkou – jde o techniku „stehování“ kompozitních cest. Segmenty vodivé cesty, které pokrývají ocelové svazky, vykazují menší odpor na jednotku délky než segmenty samotné. Vodivost těchto čistě ocelových přízí je asi 100x vyšší než příze kompozitní, což nutně vede k závěru, že nepřiliš přesná síť odporů může být jednoduše vytvořena kombinací řad stehů ve dvou materiálech.

Vodivé nitě, typicky jemnější a pevnější než vodivá vlákna, mohou být do smart oděvů strojově všity. Jejich vodivost může být regulována právě způsobem rozmístění. Výšivka vodivými nitěmi nabízí výhody pro inteligentní elektronické textilie, zahrnující možnosti našít více vrstev na textilií v jednom kroku a přesnou specifikaci dispozice elektrického obvodu s CAD.

3.1.1 Vodivé příze

Vodivá vlákna jsou velmi tenké kovové částice s průměrem dosahujícím 1 – 80 mikronů. Pro srovnání – průměr lidského vlasu dosahuje přibližně 70 – 100 mikronů. [23]



Obr. 23 Průměry kovových vláken v porovnání s lidským vlasem [23]

Vodivá vlákna se používají na textilie pro zajištění antistatických vlastností a na výrobu elektricky vodivých textilií. [24]

BEKAERT BEKINOX® je označení pro textilní přízi, která obsahuje určité procento nerezavějících ocelových vláken. Jemnost příze se pohybuje v rozmezí od 50 do 200 dtex a tvoří ji polyesterové jádro, které je opředené 20% nerezavějícími ocelovými vlákny. Textilní vlastnosti tohoto materiálu ho umožňují použít ve velkém rozsahu aplikací. Jsou to např. antistatické textilie, vyhřívané textilie, inteligentní textilie. [25]



Obr. 24 Vodivá příze Bekaert Bekinox [25]

BEKAERT BEKINOX® VN je nekonečná multifilová příze ze 100% nerezavějící oceli. Je to velmi pružná, ohebná a elektricky vodivá příze. Používá se na výrobu antistatických textilií, inteligentních textilií, pro přenos signálu, tepelně vodivých textilií. [25]



Obr. 25 Vodivá příze Bekaert Bekinox VN [25]

3.1.2 Metody výroby vodivých vláken, přízí

- *vyplnění vláken kovovými nebo uhlíkovými částicemi* – vyplnění textilních vláken mědí nebo solemi kovů, jako je síran měďnatý, který vytváří také vodivou vrstvu. Vlákná vyplněná uhlíkem mají dobrou vodivost a dají se lehce vyrobit běžnými textilními způsoby. Vlákná vyplněná solemi kovů mají proměnlivou nižší vodivost.

- *pokrytí povrchu vláken vodivými polymery nebo kovy* – chemické pokovení zahrnuje ponoření textilie do roztoku, kde chemické reakce vytvoří na povrchu vrstvu kovu (niklu nebo mědi). Chemické pokovení vytváří rovnoměrnou elektricky vodivou vrstvu, ale je drahé. Co se týče výparné vrstvy, je textilní substrát vystavený odpařovanému kovu, hlavně hliníku, který kondenzuje na povrchu a vytváří vrstvu. Tento proces může zajistit široké rozpětí tloušťky vrstvy pro různé stupně vodivosti a relativně malou tloušťku vysoce vodivé výparné vrstvy pro vysoce vodivé a navíc lehké textilie. [21]

- *použití nekonečných nebo krátkých vláken zhotovených z vodivých materiálů*. [21]

Textilní substráty lze přetvořit v elektricky vodivé materiály bez podstatné změny vlastností existujících substrátů. Mohou být aplikovány nejen na povrch vláken, přízí, ale i celých textilií, pomocí procesů zahrnujících mimo jiné chemické ukládání kovových částic, čili chemickým pokovováním, výparným povlakem nebo vyplněním vláken a karbonizací. Textilní substráty mohou být také pro dosažení vodivosti pokryty vodivými polymery, jako je např. polyanilin či polypyrrol. V současné době jsou tyto polymery používány pro vytvoření vodivé a antistatické vrstvy na vláknech, textiliích a filmech. Tyto polymerní vrstvy jsou více vodivé než kovové a mají výborné adhezní a antikorozi vlastnosti. Avšak při použití běžných metod je jejich výroba obtížná.

Pro vytvoření vodivého materiálu se nejvíce používají tkaniny s plátňovou vazbou. Plátňová vazba představuje nejzákladnější a nejjednodušší textilní strukturu. [21]

3.1.3 Vodivé polymery

Polymery jsou všeobecně známy jako izolanty (nevedou elektrický proud). Mají dobré mechanické vlastnosti a snadno se zpracovávají. Uplatňují se jako materiály izolující vodiče elektrického proudu, tepelné izolanty či vrstvy tlumící zvuk. Jejich předností je také nízká hustota, a proto se stále více využívají v oborech, kde je žádoucí malá hmotnost materiálu. [26]

Pro řadu aplikací lze funkční vlastnosti polymerů rozšířit přípravou kompozitů, tj. polymerů obsahujících nejrůznější plniva. Tak se dělají například fotocitlivé vrstvy pro xerografii a laserové tiskárny, piezoelektrické a pyroelektrické detektory či tištěné fotoodpory. U kompozitů obsahujících saze nebo práškový grafit se podařilo výrazně zvýšit elektrickou vodivost. [26]

Vedle vodivých kompozitů existují i konjugované polymery, které mohou vykazovat vlastní vysokou elektrickou vodivost. Umožňuje ji pravidelné střídání jednoduchých a dvojných vazeb (konjugace) v molekulární struktuře. Konjugované polymery jsou například – polypyrrol, polythiofen, polyanilin, polyfenylen. Vodivé polymery jsou ve srovnání s jinými polymerními materiály obtížně zpracovatelné. V běžných rozpouštědlech se nerozpouštějí a nelze je převést do taveniny. [26]

Polyanilin se připravuje oxidací anilinu. Je to pravděpodobně nejstarší syntetický polymer, který kdy člověk vůbec vyrobil. Reakce probíhá v kyselém vodném prostředí, na vzduchu v otevřené nádobě, při laboratorní teplotě, bez nutnosti zahřívání nebo míchání, s prakticky stoprocentním výtěžkem. Produkt se pak oddělí filtrací. Při skladování má časově neomezenou stálost. Jednoduchost přípravy a stabilita produktu jsou jedním z důvodů rostoucí atraktivity tohoto polymeru. Struktura a vlastnosti polyanilinu jeho zajímavost dále zvyšují.

Polyanilin existuje v řadě forem, které se navzájem liší stupněm oxidace či protonace. Odebíráním nebo dodáváním elektronů chemickou či elektrochemickou oxidací a redukcí lze získat formy s různou chemickou strukturou, stabilitou, zbarvením a elektrickými vlastnostmi. Nejcharakterističtější je však přechod mezi vodivou zelenou formou a nevodivou modrou formou, ke kterému dochází při pH 5–6. [27]

3.2 Textilní tisk

Elektronické textilie jsou většinou vodivé díky vetkání nebo vpletení vodivých přízí do textilní struktury během procesu výroby textilie. Místo vetkání nebo vpletení vodivých vláken do textilní struktury lze textilní substrát potisknout vodivými pastami, resp. inkousty, metodou sítotisku (filmového tisku).

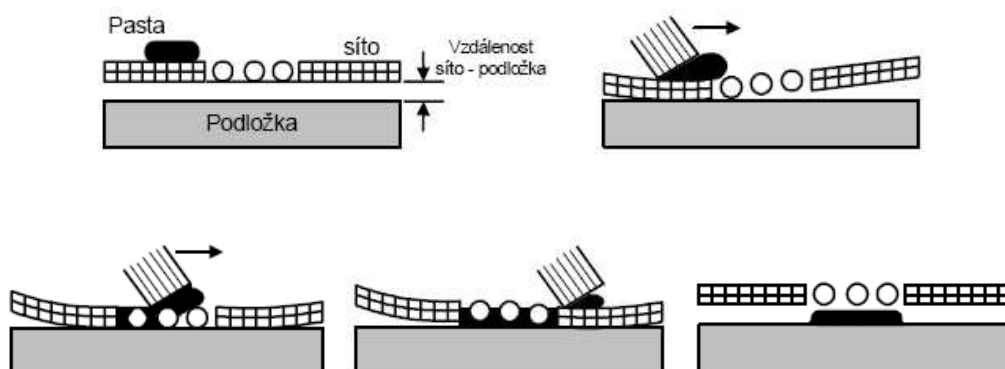
3.2.1 Sítotisk

Samotný tisk je již pouze mechanickou záležitostí, kdy po připevnění sítotiskového rámu do stroje, stačí na síto rozlít barvu, kterou pak pohyblivá stěrka protírá prázdnými oky síta na připravený potiskovaný materiál.

Základním činitelem, který ovlivňuje konečnou kvalitu tisku je síto. Na druhu použité sítoviny závisí ostrost a jemnost obrazu. Na výrobu sítoviny se dnes používají v podstatě dva materiály, polyamid a polyester. Polyamidové vlákno je pružnější a tažnější, a proto je používáno především tam, kde potřebujeme místně pružnou šablonu. Polyesterové tkaniny jsou pevnější a chemicky odolnější, proto jsou používány při vysokém nároku na přesnost tisku a na jeho životnost.

Pro upevnění sítoviny je nezbytný rám. Nejčastěji se používají rámy hliníkového tenkostěnného profilu, na které je tkanina přilepena speciálními lepidly. Používají se i rámy ocelové. Rám musí být každopádně dostatečně tuhý, protože sítoovina na něj působí tahem 1,5 až 3 kg na 1 cm délky strany rámu a síto přitom musí zůstat zcela stabilní i při velkých tlacích stěrky. [28]

Pro přípravu tiskového síta je podstatné, aby šablona přesně rozlišovala propustné body síta a body, kterými síto barvu nepropustí. Jedním z nejjednodušších, nejrychlejších a zároveň velice přesných postupů je vyřezání šablony plotterem dle počítačem zadaného motivu. Šablona se vyřezává například do tmavé světlonepropouštějící samolepící fólie, ze které se vyřezaný motiv přelepí na průhlednou fólii. Tato folie se v odborné literatuře označuje jako **printon**. Dalším z používaných postupů přípravy printonu je přímý tisk laserovou tiskárnou na průsvitnou fólii. U této metody je nutné bezpodmínečně použít kvalitní fólii a k ní příslušný toner. [28]



Obr. 26 Princip sítotisku [29]

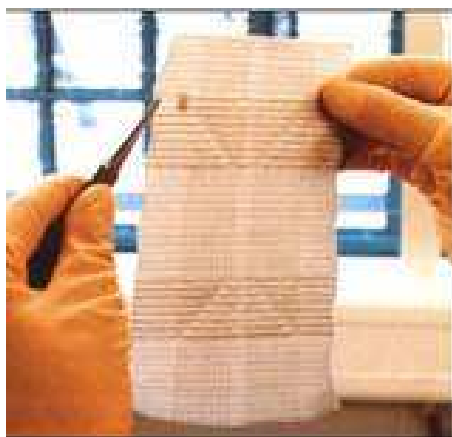
3.2.2 Vodivé pasty

Vodivé pasty jsou pasty pro zhotovení vodivých vrstev. Vodivou složkou past jsou většinou prášky ušlechtilých kovů: stříbro, zlato, platina, paládium nebo jejich kombinace. [29]

Tyto speciální pasty mohou být natištěny na libovolný podklad (jako je např. papír, plast a textilie), pro vytvoření elektricky aktivní předlohy a tudíž i elektronických textilií. [30]

3.3 Vetkání vodičů přímo do textilií

Tento způsob se jeví jako nejlepší spojovací technologie mezi textilním substrátem a elektronickými součástkami. Na jednotlivé vodivé dráhy se pak připojí mikroelektronické moduly, které musí být samozřejmě lehké, omyvatelné a podobně pružné, ohebné a trvanlivé jako běžné tkaniny. [31]



Obr. 27 Vodivé dráhy vetkané v textilií [31]

Kovový hedvábný organtýn – ve své základní formě je to jemná hedvábná tkanina s tenkými zlatými spirálami ovinutými kolem každé útkové příze. Osnova obsahuje paralelní hedvábné příze. Příčně k této osnově je vetkán útek s hedvábnými přízemi, které jsou ovinuty kovovými fóliemi. Tato kovová vlákna mají vysokou vodivost (přibližně $0,1 \Omega/\text{cm}$). Protože vodič běží v této textilií pouze v jednom směru, textilie je anizotropně vodivá.

Elektrické obvody s komponenty připojenými k organtýnu vyžadují, aby bylo zabráněno vzájemnému překřížení kontaktů, což lze provést obalením, podepřením nebo vyztužením textilie izolační vrstvou, což může být také tkanina. Nevýhodou je, že izolace může rušit vodivost textilie. [31]

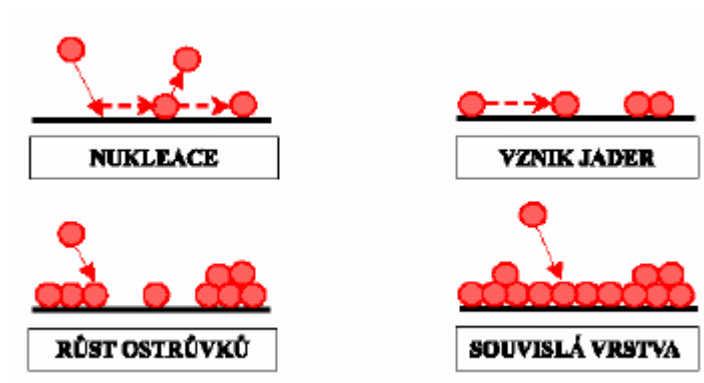


Obr. 28 Kovový hedvábný organtýn [6]

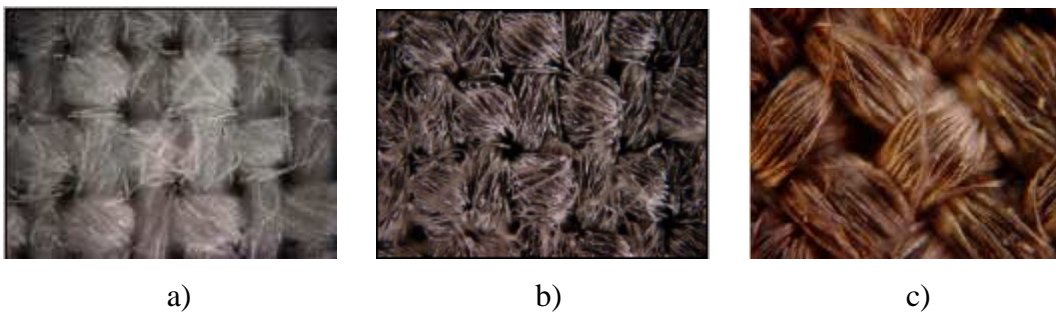
3.4 Pokovení povrchu textilie

Plazma je ionizovaný plyn složený z iontů, elektronů (a případně neutrálních atomů a molekul), který vzniká odtržením elektronů z elektronového obalu atomů plynu, či roztržením molekul (ionizací). Plazma obsahuje volné elektrické náboje, proto je elektricky vodivá. [32]

Plazmatické pokovování povrchu textilie - při nanášení je vrstva vytvářena z jednotlivých dopadajících atomů. Atom se na povrchu zachytí procesem sorpce (fyzikální a nebo chemické), pohybuje se po povrchu a potom se buď zachytí na povrchu trvalou vazbou a nebo se zpětně uvolní. Další dopadající atom se může pohybovat po povrchu a spojit se vazbou s atomem, který byl už dříve zachycený. Tímto způsobem se vytváří izolované zárodky a ostrůvky rostoucí vrstvy. Ty se postupně časem začínou spojovat až vytvoří souvislou vrstvu, která dál roste a zvyšuje svojí tloušťku. [33]



Obr. 29 Tvorba vrstvy povlaku [33]



Obr. 30 a) bavlněná tkanina nepokovená, b) bavlněná tkanina s nánosem 1000 nm stříbra, c) bavlněná tkanina s nánosem 1000 nm mědi [33]



Obr. 31 a) PET tkanina nepokovená, b) PET s nánosem 1000 nm stříbra [33]

4. Experiment

Cíl experimentu byl zaměřen na tvorbu elektricky vodivých drah pomocí techniky tisku. Součástí práce byla také analýza chování této textilní vodivé struktury při praktickém používání.

Nejprve byly vybrány vzorky vhodné pro tento experiment. Pro samotný tisk byly nakresleny vodivé dráhy, podle kterých bylo vytvořeno síto a byla namíchána vodivá pasta, která byla tištěna na podkladový materiál pomocí sítotisku.

Po natištění jednotlivých vzorků bylo provedeno měření elektrického odporu na jednotlivých vodivých drahách. Provedlo se měření změn vodivosti na základě mechanického namáhání jednotlivých vzorků na ohyb a tlak. Dále byla ověřena stabilita elektrických vlastností při různých hodnotách relativní vlhkosti prostředí.

Poté byla klávesnice jednoduchým způsobem složena a byl měřen odpor mezi dvěma vrstvami vodivých drah – funkčnost celé klávesnice. V závěru bylo teoreticky popsáno zakomponování klávesnice do oděvu.

Etapy experimentu

Příprava vzorků

1. Volba materiálů pro tisk vodivou pastou.
2. Návrh vodivých cest vektorovou grafikou – příprava síta.
3. Příprava vodivé pasty.
4. Tisk – sítotiskem pomocí vodivé pasty na tiskacím stole.

Ověření funkčnosti, mechanické odolnosti klávesnice a stability vlastností

Jednotlivé vzorky

1. Měření elektrického odporu vodivých drah.
2. Mechanické zkoušky – ohyb a tlak – následné měření odporu.
3. Ověření stability – změnou vlhkosti prostředí na vodivost pasty, následné měření odporu.

Klávesnice

4. Praktické sestavení klávesnice.
5. Měření elektrického odporu klávesnice.

4.1 Příprava vzorků

4.1.1 Volba materiálů pro tisk vodivou pastou

Parametry pro výběr textilií pro tisk vodivou pastou:

- hustá dostava, aby nedocházelo k protisknutí pasty na rubní stranu textilie,
- vazba plátňová – nejhustší,
- nízká savost materiálu, aby nedocházelo k případnému vpíjení vodivé pasty do struktury textilie. Tím by se narušila struktura samotné vodivé cesty a snížila by se její vodivost,
- hladký povrch textilie, nesmí odstávat chloupky z povrchu materiálu,
- textilie bez vlasu,
- kalandrovaná úprava.

V experimentu byly pro tisk vodivou pastou vybrány tyto tři druhy materiálů (viz tab. 1).

Tab. 1: Druhy textilií použité pro tisk vodivou pastou

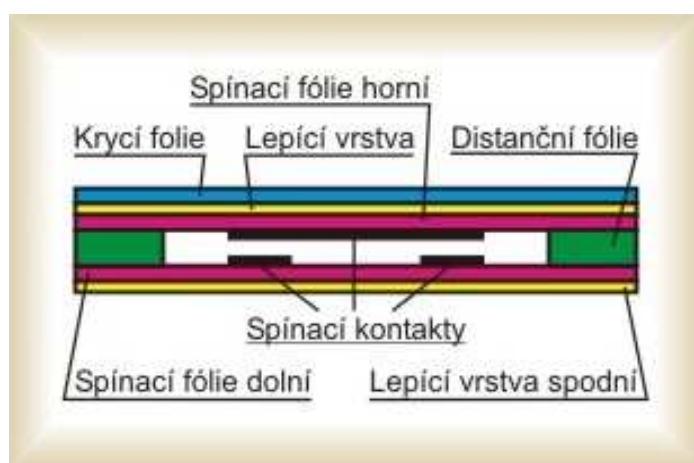
	Druh textilie	Barva	Vazba	Složení	Dostava [cm]	Úprava
1	Sypkovina	Bílá	Plátňová	100% bavlna	37 o 33 ú	Kalandro- vání
2	Sypkovina	Sv. modrá	Plátňová	50 % bavlna, 50 % polyester	37 o 33 ú	Kalandro- vání
3	Podšívka	Tm. modrá	Plátňová	100% polyester	45 o 29 ú	-

4.1.2 Návrh vodivých cest vektorovou grafikou – příprava síta

Celkové složení vrstev u jednotlivých variant klávesnic

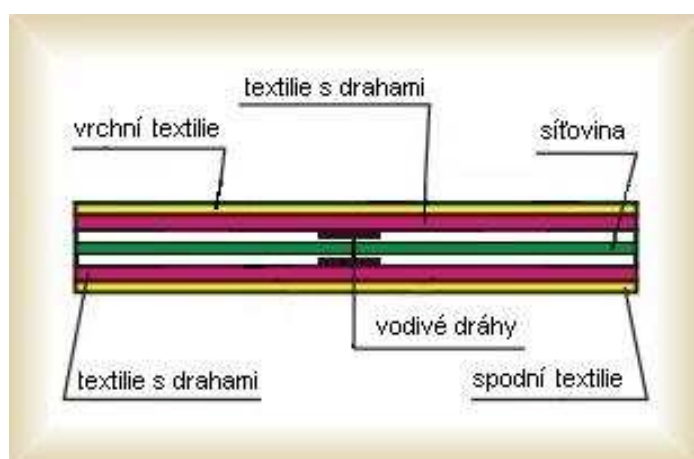
Sestavení klávesnice samotné bylo inspirováno sestavením klávesnic fóliových. Jde prakticky o stejný princip klávesnic, jen podkladový materiál pro nános vodivé pasty je jiný a na textilní klávesnici není použit proces laminování. [39]

Předloha - celkové sestavení fóliové klávesnice:



Obr. 32 Jednotlivé vrstvy fóliové klávesnice [39]

Návrh podle předlohy - celkové sestavení textilní klávesnice by pak mělo vypadat takto:



Obr. 33 Jednotlivé vrstvy textilní klávesnice

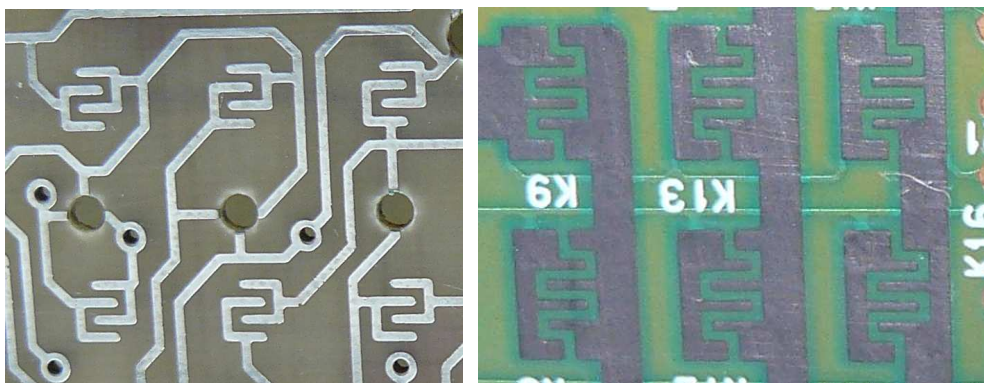
Jednotlivé vrstvy textilní klávesnice:

- vrchní textilie = vrchová textilie oděvu s tlačítky,
- textilie s drahami = textilie v plátňové vazbě s natištěnými vodivými drahami,
- síťovina = pletená síťovina ze 100% polyamidu s šíří ok 1,5 mm,
- textilie s drahami = druhá vrstva textilie v plátňové vazbě s natištěnými vodivými drahami,
- spodní textilie = spodní krycí textilie (kryje celý povrch klávesnice).

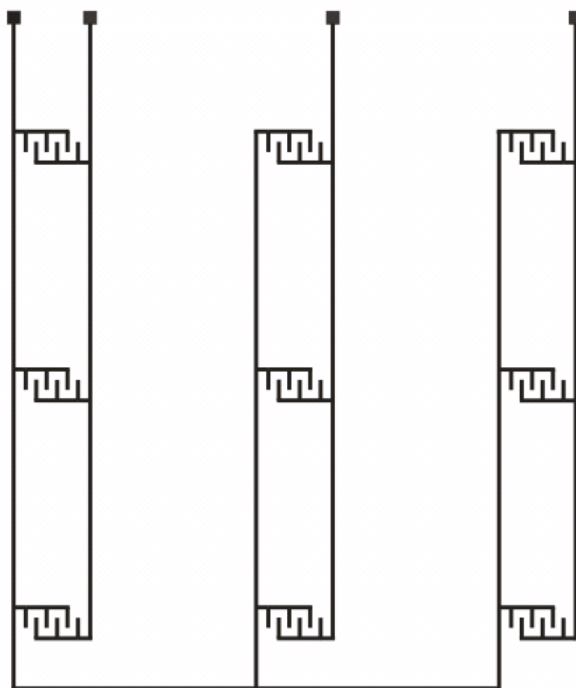
Návrhy vodivých cest byly vytvořeny pomocí softwaru **CorelDRAW Graphics Suite 11**. Tento software je jeden z nejznámějších a nejpoužívanějších profesionálních grafických editorů pracujících s vektorovou grafikou. Díky tomuto programu se může jednoduše vytvářet design pro webové stránky, vizitky, letáky, reklamní předměty atd.

Pro tuto práci bylo vytvořeno pět návrhů základních vodivých cest. První z návrhů byl inspirován vodivými cestami, které obsahují dálkové ovladače a ostatní typy byly inspirovány vodivou sítí v klávesnici od počítače.

První druh vodivé cesty byl inspirován vodivými cestami, které jsou na tištěné desce dálkového ovládání od televize. Viz obr. 34.

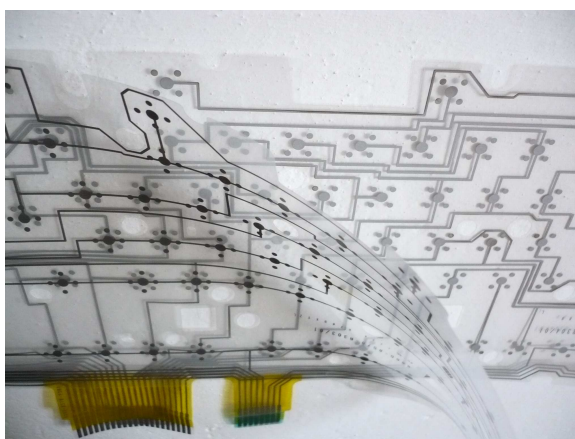


Obr. 34 Vodivé cesty dálkového ovládání

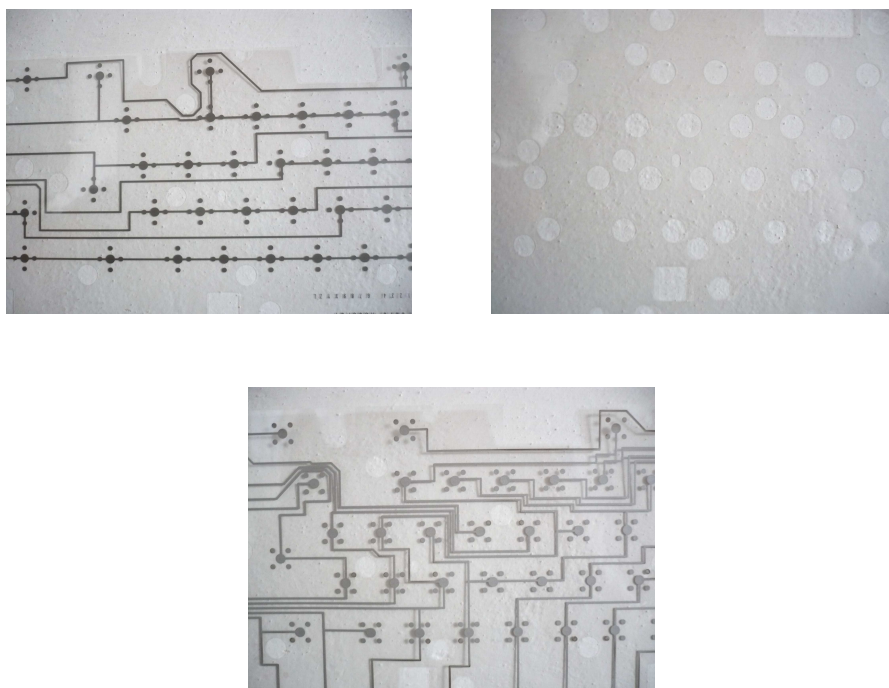


Obr. 35 Návrh vodivé cesty č. 1

Další druhy vodivých cest byly inspirovány vodivými cestami, které obsahují fólie z klasické klávesnice od počítače. Viz obr. 36 a 37. Vrchní vrstva obsahuje zejména vodorovné vodivé cesty. Pod ní je fólie s dírkami v místě tlačítek a spodní vrstva obsahuje nejvíce svislé vodivé dráhy.

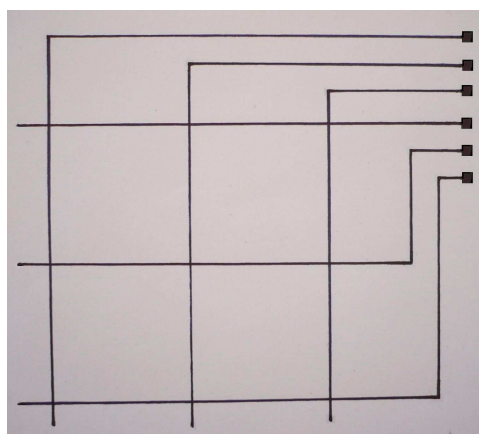


Obr. 36 Vodivé cesty v klávesnici od počítače

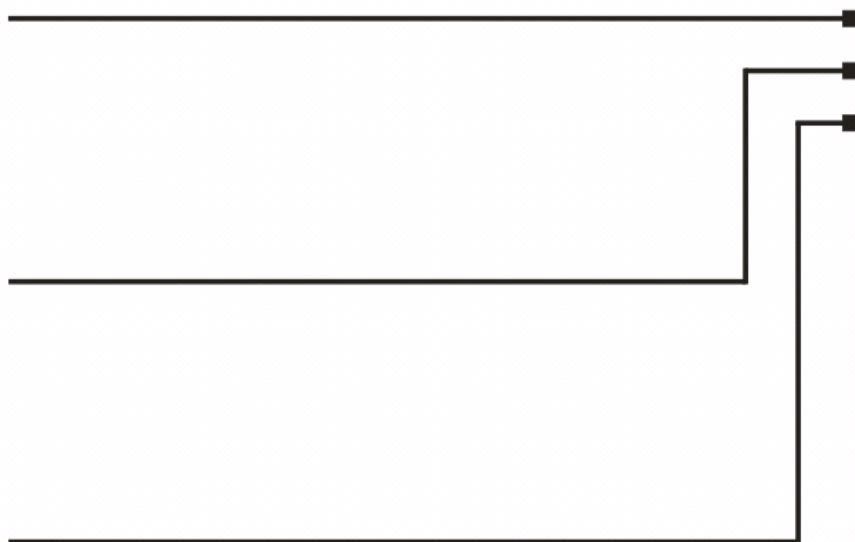


Obr. 37 Jednotlivé vrstvy klávesnice od počítače

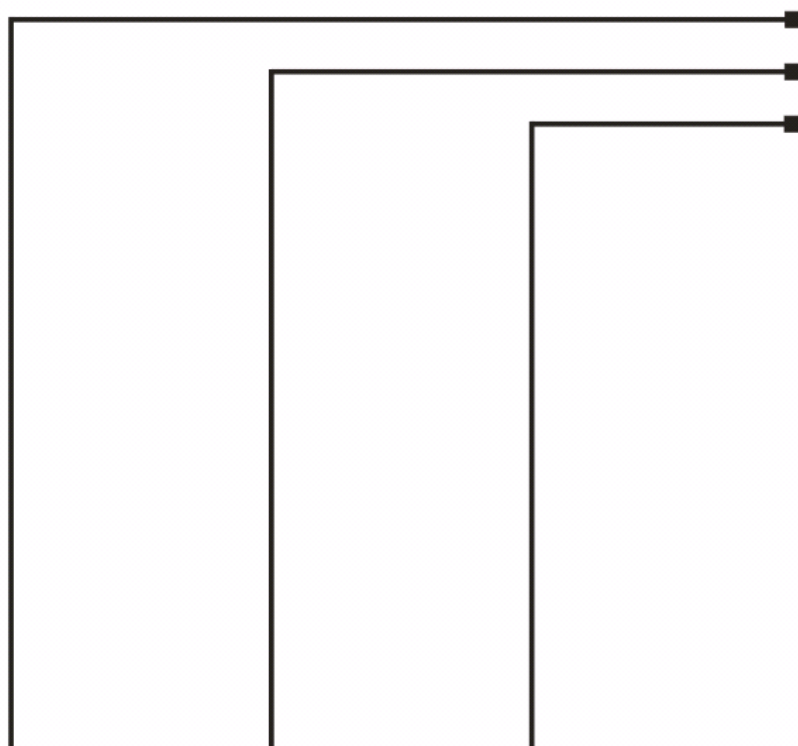
V prvním případě tohoto experimentu budou vodivé cesty sestaveny takto. Z tohoto nákresu pak vznikly nákresy jednotlivých vodivých drah č. 2 a 3.



Obr. 38 Nákres složení vodivých drah č. 2 a 3

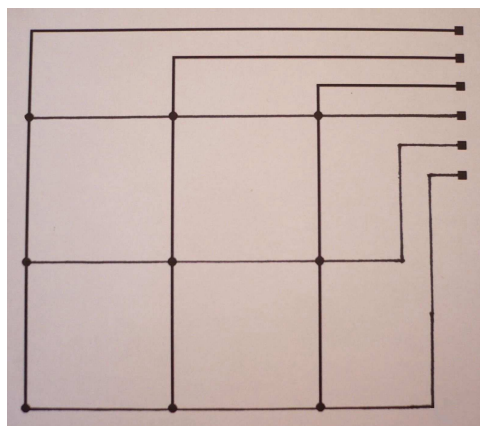


Obr. 39 Návrh vodivé cesty č. 2

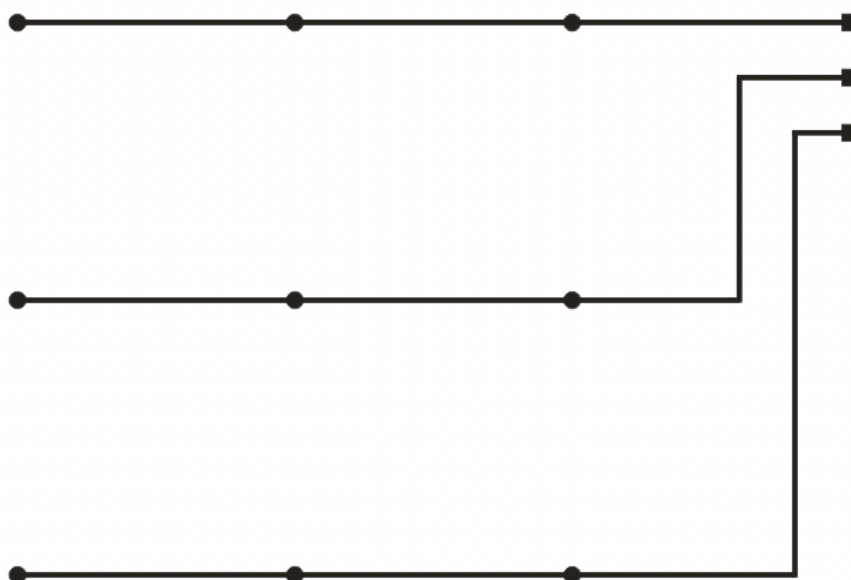


Obr. 40 Návrh vodivé cesty č. 3

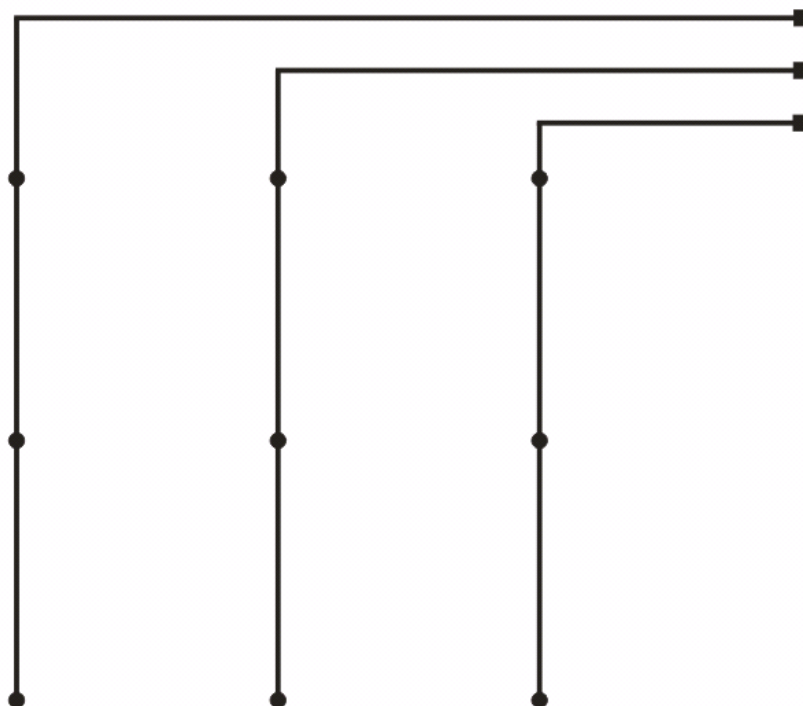
Ve druhém případě budou vodivé cesty sestaveny podle tohoto nákresu. Takto pak vznikly nákresy jednotlivých vodivých drah č. 4 a 5.



Obr. 41 Nákres složení vodivých drah č. 4 a 5

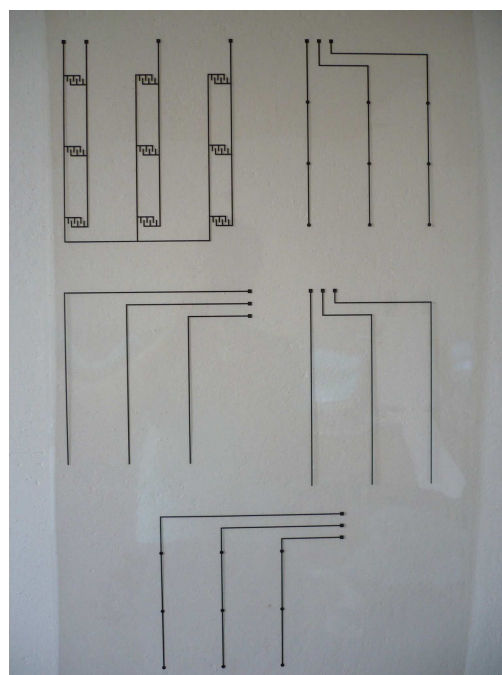


Obr. 42 Návrh vodivé cesty č. 4



Obr. 43 Návrh vodivé cesty č. 5

Vodivé cesty byly vytvořeny v šířce 1 mm. Celý návrh síta vypadal takto:



Obr. 44 Návrh vodivých cest
pro výrobu síta

Příprava síta

Samotné síto bylo vyrobeno ve firmě *Sitaservis* v Praze.

Síto se skládá z hliníkového rámu a napnuté síťoviny. Napínání firma Sitaservis provozuje na špičkovém pneumatickém napínacím zařízení od firmy SEFAR. Tento servis je poskytován včetně dodávky hliníkových ráků i síťovin všech dostupných hustot. Kromě polyesterových a polyamidových síťovin je možné napínat a lepit i kovové sítotiskové tkaniny na hliníkové rámy. Všechny dodávané hliníkové sítotiskové rámy jsou upravené pro lepení síťovin pískováním.

Napětí v tkanině je během napínání průběžně kontrolováno nejmodernějším digitálním měřicím zařízením SEFAR TENSOCHECK 100. I když je síťovina vyráběna z nejnovějších vysoce pevnostních vláken, před každým nalepením se stabilizuje, aby pokles napětí v tkanině byl co nejnižší. Tímto způsobem napínání je zaručeno rovnoměrné a konstantní napnutí tkaniny po celé ploše. [34]

Velikost rámu pro tento experiment byla 70 x 50 cm.

Byly zvoleny vodivé cesty pro klávesnici formou spínače. Výhodou je skutečnost, že se systém neustále nachází ve dvou stavech:

1. proud systémem protéká,
2. proud systémem neprotéká.

Proud tedy protéká pouze tehdy, když dojde k sepnutí (v tomto případě ke stisku klávesy).

Obr. 45 Hotové síto



4.1.3 Příprava vodivé pasty

V tomto experimentu jde o vytvoření elektricky vodivých drah nanesením vodivé pasty na textilií. Pasta je nanesená na textilií pomocí sítotisku. Aby vytvořené vodivé dráhy měly požadované vlastnosti z hlediska vodivosti, musí být zvolena vhodná tiskací pasta a samozřejmě podkladový materiál. Nejčastěji se pro tisk používají pasty s příměsí stříbra.

Byla použita pasta firmy *Creative Materials* s přídavkem stříbra s označením 112-15 (příloha 1). Pro výrobu tiskací pasty se muselo použít také ředidlo s označením 112-19.

Příprava samotné pasty i vlastní tisk probíhal na katedře zušlechťování na Textilní fakultě v Liberci.

Problémy při přípravě vodivé pasty

Je těžké získat správný poměr pasty (obsahující stříbro) a ředidla. Při přípravě se musí postupovat po malých krocích při přidávání ředidla a vždy zkoušet výslednou hustotu pasty.

Je nutné vytvořit správnou konzistenci pasty. Pokud bude použito méně ředidla, bude vytvořena pasta o hustší konzistenci a bude docházet k ucpávání síta. Pokud se naopak použije větší množství ředidla, bude pasta řidší a dojde k jejímu pronikání a rozpíjení do tkaniny samotné.

Postup míchání

- Nejprve tedy bylo smícháno 150 g pasty s 20 g ředidla. Pasta však byla stále hustá a nemusela by se dobře protiskávat skrze síto.
- Proto bylo přidáno dalších 5 g ředidla. Tato konzistence již byla pro tisk přijatelná.

4.1.4 Tisk – sítotiskem pomocí vodivé pasty na tiskacím stole

Tisk probíhal na tiskacím stroji firmy **Johaness-Zimmer** typu mini MDF/752 tímto postupem.

1. Nejprve se na stroji zapne hlavní vypínač elektrického proudu.
2. Na povrch stolu se položí tkanina, která se bude potiskovat.
3. Na tkaninu se přiloží tiskací síto a na síto se nanese tiskací pasta.
4. Zapne se magnet.
5. Přidrží se spínač, stěrka se po zachycení magnetem začne pohybovat vlevo.
6. Spínač se po první vrstvě tisku přepne do druhé polohy, stěrka se začne pohybovat vpravo.

Průměr stěrky byl nastaven do polohy 2, přítlak stěrky byl nastaven do maximální polohy 6 a rychlost pohybu stěrky na 12 m min^{-1} . Po natištění dvou vrstev je tisk hotový. Síto se opatrně zvedne a vloží se další textilie. Vodivou pastu není nutné vysoušet či nějakým způsobem fixovat. Pouze se nechala několik hodin zaschnout při teplotě okolního prostředí.

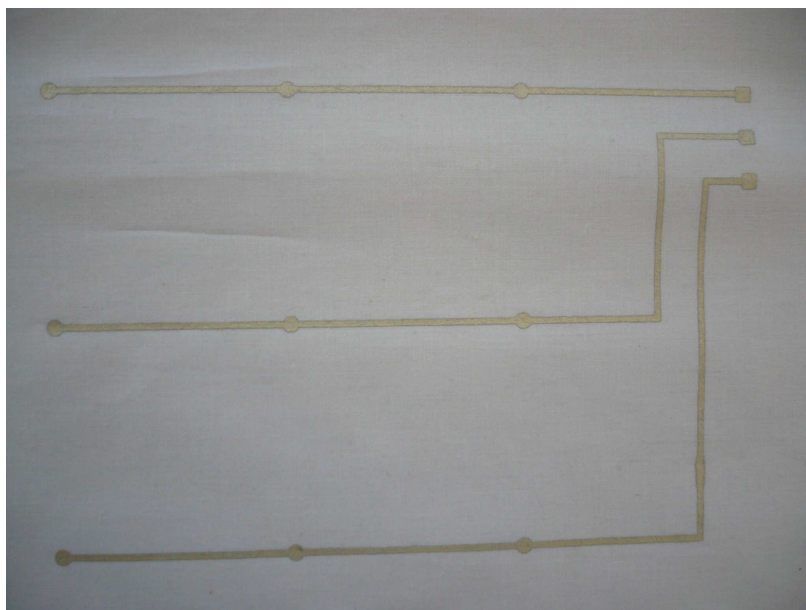
Maximální rychlost pohybu stěrky je 10-12 m/min.

Dva stěry byly pro tisk již použity při experimentu diplomové práce studentky Hetzerové. Toto množství bylo pro minulý experiment postačující, proto bylo zvoleno stejné množství stěrů i pro tento experiment.

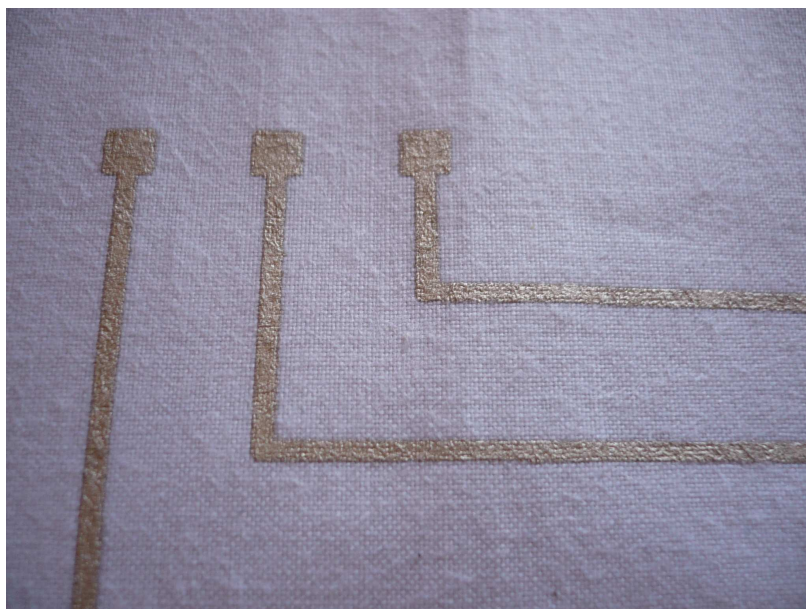
Po natištění všech textilií se síto musí umýt od zbytků pasty, aby bylo možné ho případně použít znovu. Použijí se k tomu mycí prostředky firmy **Creative Materials**. CPS Screen Wash K3 a prostředek CPS Screen Opener K2 pro vyčištění zbytků, které nelze snadno odstranit. Na síto se nanese mycí prostředky a síto se omývá pod proudem studené vody.



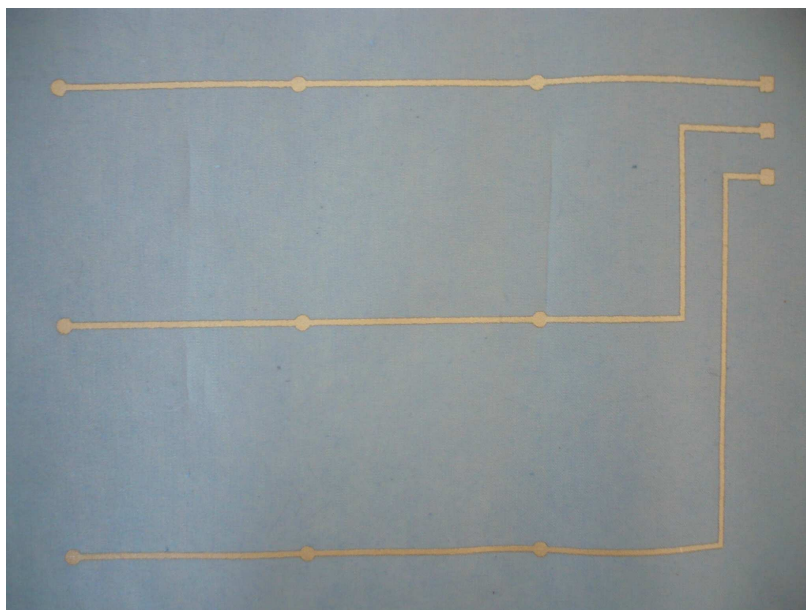
Obr. 46 Tiskací stůl Johanness-Zimmer mini MDF/752



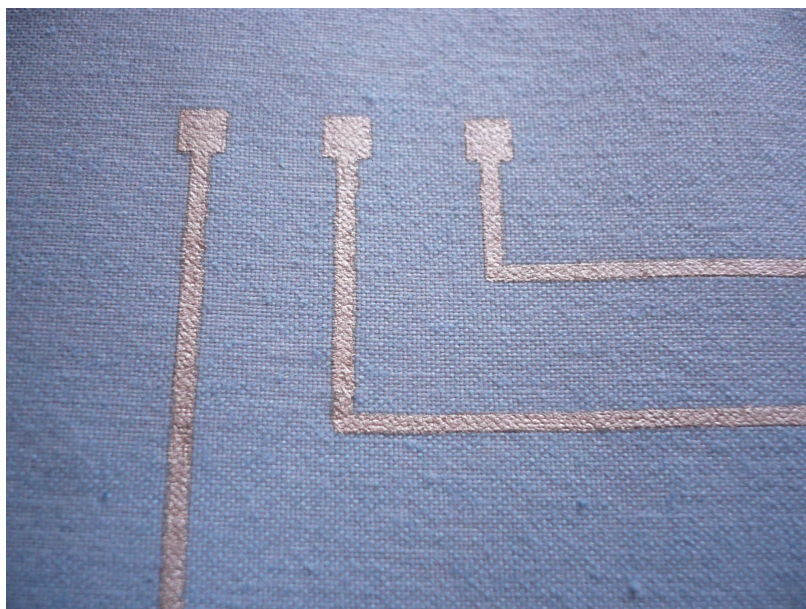
Obr. 47 Potištěná textilie ze 100% bavlny



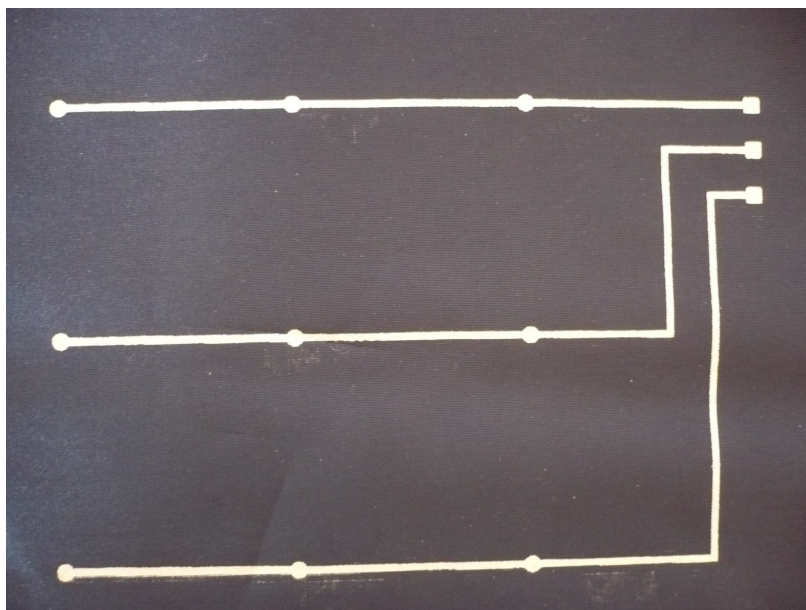
Obr. 48 Detail potištěné textilie ze 100% bavlny



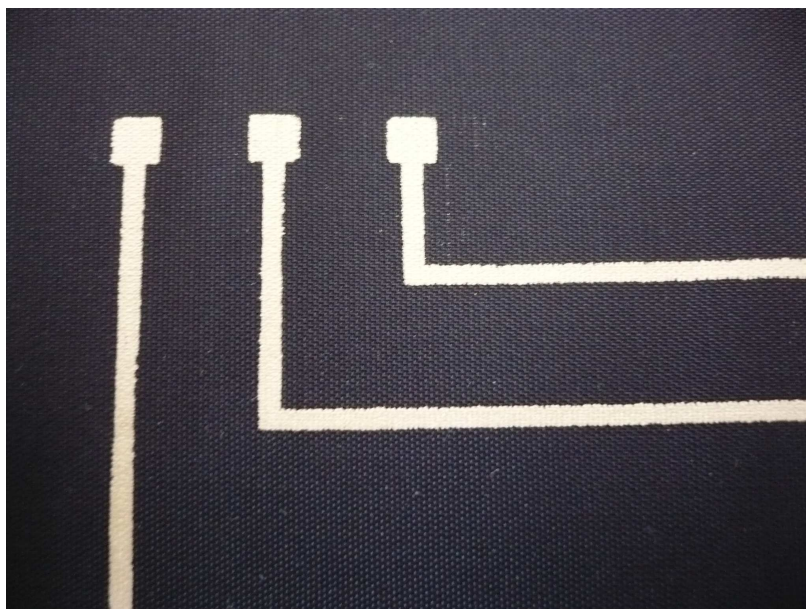
Obr. 49 Potištěná textilie ze směsi bavlna/polyester



Obr. 50 Detail potištěné textilie ze směsi bavlna/polyester



Obr. 51 Potištěná textilie ze 100% polyesteru



Obr. 52 Detail potištěné textilie ze 100% polyesteru

U každého materiálu došlo k odlišnému natištění pasty. Materiál ze 100% bavlny pastu držel na svém povrchu a nepropustil ji na rubní stranu materiálu. Šíře natištěných vodivých drah byla 1,5 mm.

U materiálu směsového – bavlna/polyester byly natištěny nejužší vodivé cesty. Jejich šíře byla 1 mm. Došlo také k mírnému prosáknutí vodivé pasty na rubní stranu, a to polyesterovými přízemi.

A u materiálu ze 100% polyesteru byly vodivé cesty natištěny dokonce až v šířce 2 mm. U tohoto materiálu také došlo k většímu proniknutí pasty na rubní stranu. Při detailnějším pohledu bylo zřejmé, že pasta na povrchu textilie kopíruje její povrch a není spojitá.

4.2 Ověření funkčnosti, mechanické odolnosti klávesnice a stability vlastností

Po vykonání první části experimentu, která se zaměřovala na tvorbu vodivých drah pomocí sítotisku, bylo nutné také zjistit jejich funkčnost při samotném používání.

Jelikož bude klávesnice plně textilní, bude tedy pružná a ohebná. Často bude docházet k jejímu ohýbání. Proto bylo jako první vybráno mechanické namáhání na ohyb. Jednotlivá tlačítka klávesnice také budou neustále namáhána na tlak při stisku jednotlivých tlačítek. Jako druhá zkouška bylo vybráno mechanické namáhání na tlak, i když je toto namáhání důležitější spíše pro zkoušení celého modelu klávesnice.

Zkoušky byly provedeny spíše jen informativně - zda dojde k porušení spojitosti, protlačení pasty na rubní stranu materiálu či jinému poškození.

Vodivost jednotlivých drah bude měřena pomocí elektrického odporu. Byl také zkoumán vliv vlhkosti.

4.2.1 Měření elektrického odporu jednotlivých vzorků

Elektrický odpor R (rezistance) je vlastnost hmoty bránit průchodu elektrického proudu. Jednotkou elektrického odporu je ohm $[\Omega]$ definovaný z Ohmova zákona: [35]

$$R = \frac{U}{I} \quad [\Omega]$$

U – napětí [V]

I – elektrický proud [A]

Je však také nutné přihlídnout k možným vlivům okolního prostředí. Na materiál působí teplota, relativní vlhkost prostředí, tlak atd. Působení těchto veličin mohou ovlivnit změnu měřených veličin, zvláště pak vodivosti materiálu.

K měření elektrického odporu na materiálu byl použit **Digital Multimeter DMM-3800** firmy RTO (viz obr. 44).

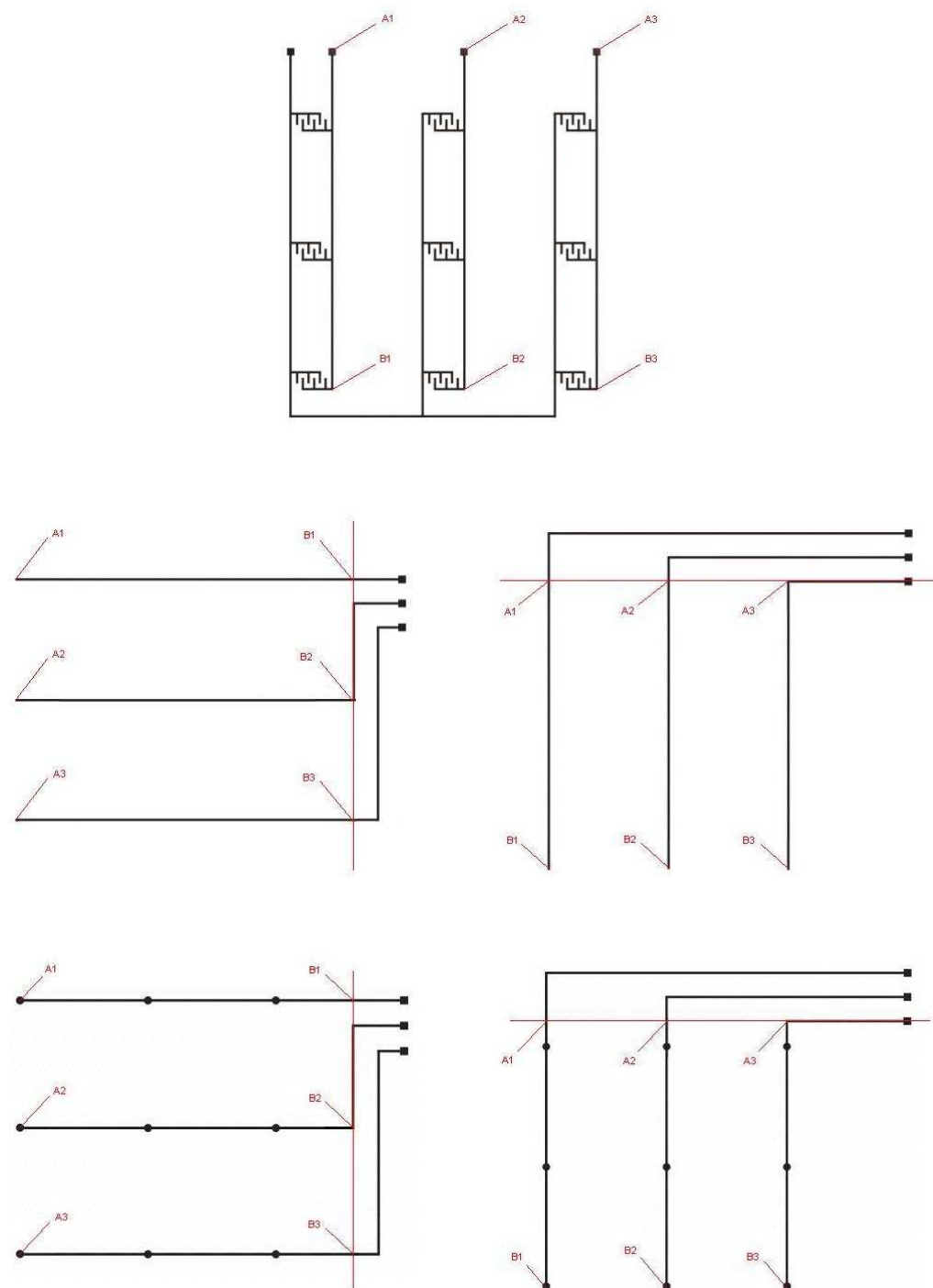


Obr. 53 Digitální multimetr DMM-3800 [36]

Jednotlivé fáze měření elektrického odporu

1. Poprvé byl elektrický odpor vodivé pasty měřen po natištění.
2. Podruhé byla měřena změna odporu vlivem cyklického namáhání na ohyb a na tlak. Materiál byl nejprve 3x namáhán na ohyb a poté 3x na tlak. Teprve po tomto mechanickém namáhání byl změřen elektrický odpor.
3. Následně byl materiál vystaven třem druhům relativní vlhkosti prostředí. Měření bylo provedeno po každé změně vlhkosti.

Elektrický odpor byl měřen kontaktním způsobem pomocí dvou elektrod, které byly přiloženy k povrchu vodivé pasty v různých vzdálenostech, vždy však mezi body A1-B1, body A2 – B2 a body A3 – B3.



Obr. 54 Ukázky jednotlivých vzdáleností měřených multimetrem

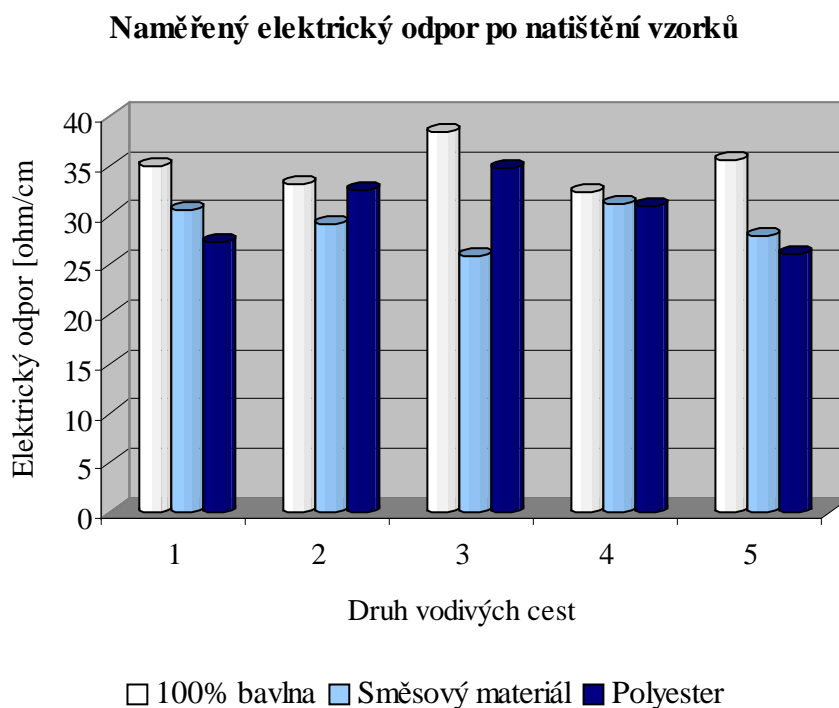
Bylo nutné najít u všech vzorků nejdelší společnou dráhu. Tyto vzdálenosti byly díky technologii jednotlivých drah rozdílné. Proto se měřené délky pohybovaly od 11 do 15 cm. Odpor je však vždy přepočítán na 1 cm. Po natištění vzorků byl měřen elektrický odpor (viz tab. 2). Na každém vzorku byla provedena tři měření na každé vodivé cestě.

Tab. 2: Elektrický odpor naměřený po natištění vzorků

Elektrický odpor R [Ω /cm] jednotlivých vodivých drah					
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% bavlna	32	25,71	35	28,18	34,62
	38	34,29	38,33	32,73	36,92
	34,67	39,29	41,67	36,36	35,38
Průměr	34,89	33,10	38,33	32,42	35,64
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
Bavlna/ Polyester	30,67	25,71	26,67	28,18	24,62
	31,33	31,43	25	33,63	30
	29,33	30	25,83	31,82	29,23
Průměr	30,44	29,05	25,83	31,21	27,95
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% polyester	26,67	32,14	35	28,18	27,69
	27,33	32,14	34,17	31,82	26,15
	28	33,57	35	32,73	24,62
Průměr	27,33	32,62	34,72	30,91	26,15

Po natištění bylo provedeno první měření odporu a zjišťovalo se, zda vodivá pasta na textilií opravdu vodí elektrický proud.

Graf č. 1 Elektrický odpor vzorků měřený po natištění



Z tabulky č. 2 a grafu č. 1 je zřejmé, že největší elektrický odpor má v průměru materiál bílé barvy. Tedy materiál ze 100% bavlny. Šíře vodivých cest je u tohoto materiálu 1,5 mm, pasta se na povrchu trochu roztekla, ale nepronikla na rubní stranu. Odstávající chloupky bavlněné příze se na povrchu mísí s vodivou pastou, a jelikož tím zasahují do její struktury, zvyšuje se i elektrický odpor.

Nejlépe byl natištěn materiál směsový - bavlna/polyester. Vodivé cesty si udržely stejnou šíři jako v návrhu síta, ale došlo k malému proniknutí pasty na rubní stranu materiálu. Elektrický odpor pasty je v průměru nejnižší.

Materiál ze 100% polyesteru má vodivé cesty natištěné v šířce 2 mm, pasta se na materiálu roztekla a kopírovala reliéf povrchu. Došlo také k částečnému propití pasty na rubní stranu vzorků. Vazba tkaniny tedy zasahuje do struktury vodivé pasty a tím je vyšší elektrický odpor.

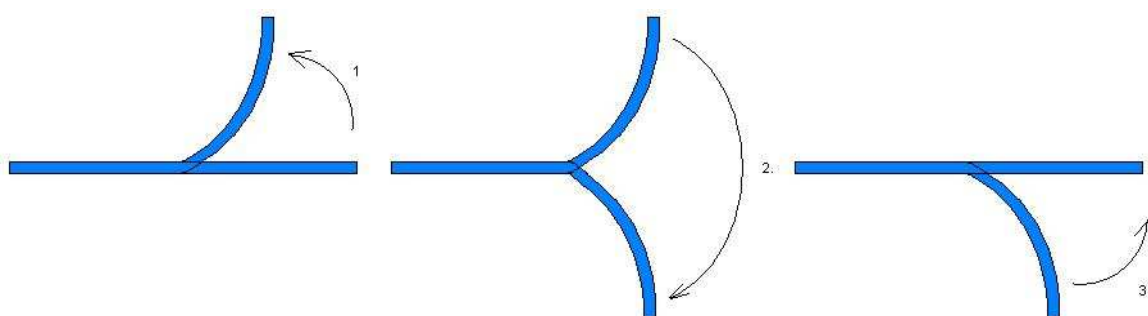
4.2.2 Mechanické zkoušky – ohyb a tlak – následné měření odporu

V této části byla použita zařízení pro mechanické namáhání **KES – FB** (Kawabata Evaluation System for Fabrics). Systém umožňuje testování šesti základních mechanických vlastností plošných textilií (tah, smyk, ohyb, stlačitelnost, koeficient tření a drsnost).

Jako první byl použit měřicí přístroj **Automatic Pure Bending Tester - KES-FB2**. Přístroj je nový automatický model pro testování ohybových vlastností (ohybová tuhost, ohybový moment) textilií, netkaných textilií, přízí. Viz příloha č. 3. [37]

Průběh zkoušky:

Vzorek o velikosti 10 x 10 cm se upne do čelistí přístroje. Čelist na jedné straně se pevná, čelist na straně druhé je pohyblivá. Tato druhá čelist ohýbá vzorkem. Nejprve z východní pozice o 90 ° směrem nahoru, poté o 180 ° dolů a zpět o 90 ° do výchozí pozice.



Obr. 55 Příklad mechanického namáhání vzorku na ohyb

Namáhání na ohyb bylo prováděno tak, aby byl vzorek namáhán vždy v místě vodivé dráhy. U vzorků s vodivými drahami č. 1 bylo namáhání provedeno v osnově i útku. Vzorky s vodivými drahami č. 2 a 4 byly namáhány pouze ve směru osnovy a vzorky s drahami č. 3 a 5 byly namáhány pouze ve směru útku.

Jako druhý byl použit přístroj *Automatic Compression Tester - KES-FB3*. Přístroj je nový automatický model pro testování kompresních vlastností jako tloušťky, stlačitelnosti textilií a fólií. Viz příloha č. 4. [38]

Průběh zkoušky:

1. fáze – identifikace prvního kontaktu s měřeným materiálem, tj. stanovení tzv. „základního bodu”,
2. fáze – klesání pístu od základního bodu a stlačování vzorku do meze působícího tlaku.

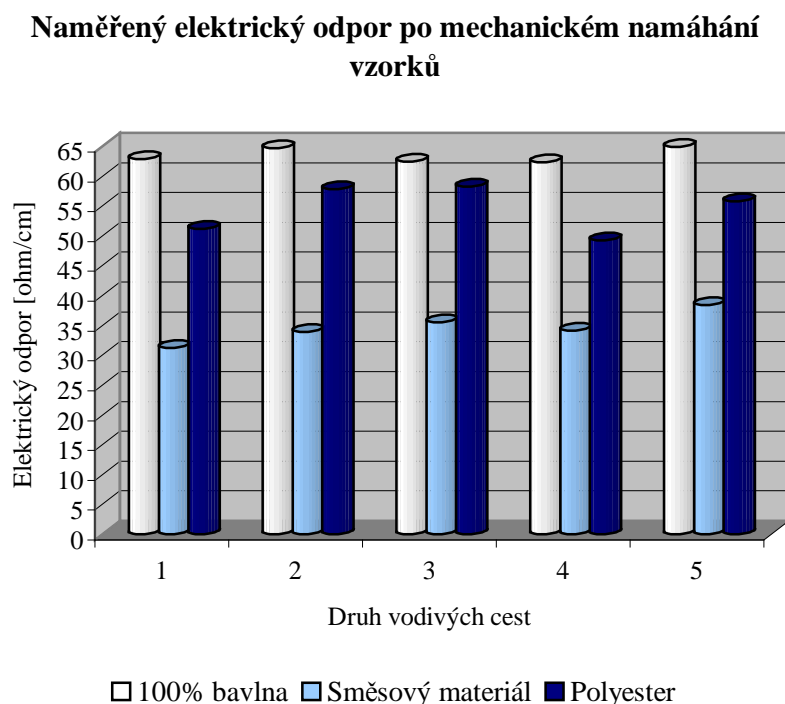
Namáhání jednotlivých vzorků nebylo cyklické. Vzorky byly namáhány pouze 3x (vždy 3x na ohyb a 3x na tlak), počet opakování tak neodpovídá požadavkům cyklických zkoušek, a to především z hlediska malého počtu opakování. Namáhání bylo provedeno pouze informativně, zda se hodnoty elektrického odporu vůbec změní či nikoliv.

Po tomto namáhání byl změřen elektrický odpor.

Tab. 3: Elektrický odpor naměřený po mechanickém namáhání vzorků

Elektrický odpor R [Ω/cm] jednotlivých vodivých drah					
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% bavlna	60,71	63,33	60,91	60	62,33
	64,29	67,5	66,36	62,31	65,33
	63,57	63,33	60	64,62	66
Průměr	62,86	64,72	62,42	62,31	64,89
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
Bavlna/ Polyester	27,14	28,33	33,64	36,92	38
	34,29	38,33	34,55	32,31	40
	32,14	35	38,18	33,08	37,33
Průměr	31,19	33,89	35,46	34,1	38,44
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% polyester	52,86	55,83	58,33	48,46	57,33
	51,43	60,83	57,27	50	56
	49,29	56,67	59,09	49,23	54
Průměr	51,19	57,78	58,23	49,23	55,78

Graf č. 2 Elektrický odpor vzorků měřený po mechanickém namáhání na ohyb a tlak



Tabulka č. 3 a graf č. 2 ukazuje, že největší elektrický odpor má v průměru opět materiál bílé barvy. Při ohýbání vzorků rozrušovaly vodivou pastu odstávající vlákna bavlněného materiálu.

Celkově elektrický odpor stoupl, výrazně však pouze u vzorků ze 100% bavlny a 100% polyesteru. U vzorků z polyesteru vodivá pasta kopíruje reliéf a pronikla z velké míry na rubní stranu. Vodivá pasta tedy není na povrchu spojitá a při mechanickém namáhání dochází k jejímu rozrušení, a tedy i zvýšení elektrického odporu.

Nejméně se zvýšil elektrický odpor u vzorků ze směsového materiálu – bavlna/polyester. U těchto vzorků došlo k nejlepšímu natištění vodivých cest. Dráhy jsou spojité, i když došlo k malému proniknutí pasty na rubní stranu.

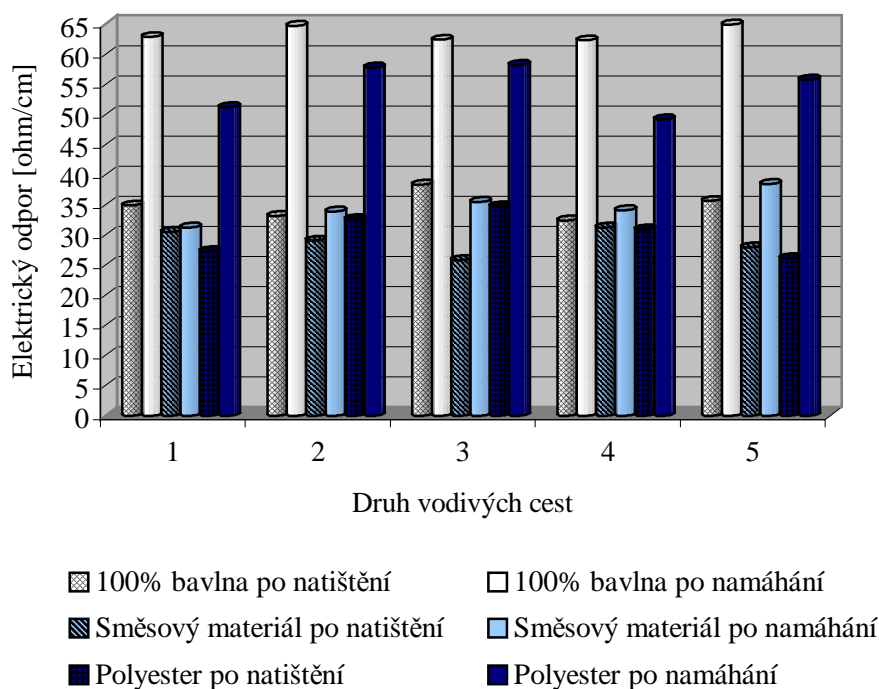
Vzájemné porovnání naměřených hodnot ze vzorků měřených po natištění a po mechanickém namáhání.

Tab. 4: Porovnání elektrického odporu po natištění a po mechanickém namáhání vzorků

Vodivé dráhy	Průměrný elektrický odpor R [Ω/cm] jednotlivých vodivých drah u bavlněného materiálu		
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Nárůst odporu [%]
Č. 1	34,89	62,86	180,17
Č. 2	33,10	64,72	195,53
Č. 3	38,33	62,42	162,85
Č. 4	32,42	62,31	192,20
Č. 5	35,64	64,89	182,07
Vodivé dráhy	Elektrický odpor R [Ω/cm] jednotlivých vodivých drah u směsového materiálu		
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Nárůst odporu [%]
Č. 1	30,44	31,19	102,46
Č. 2	29,05	33,89	116,66
Č. 3	25,83	35,45	137,24
Č. 4	31,21	34,10	109,26
Č. 5	27,95	38,44	137,53
Vodivé dráhy	Elektrický odpor R [Ω/cm] jednotlivých vodivých drah u polyesterového materiálu		
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Nárůst odporu [%]
Č. 1	27,33	51,19	187,30
Č. 2	32,62	57,79	177,16
Č. 3	34,72	58,23	167,71
Č. 4	30,91	49,23	159,27
Č. 5	26,15	55,78	213,31

Graf č. 3 Elektrický odpor vzorků měřený po natištění a po mechanickém namáhání

Elektrický odpor po natištění a po mechanickém namáhání



Největší rozdíl v naměřených hodnotách elektrického odporu na vzorcích po natištění a po následném mechanickém namáhání ukázaly vzorky ze 100% bavlny. Tyto vzorky také podle vyfocených snímků z programu Lucia měly největší množství odstávajících vláken, které se na povrchu míchaly s vodivou pastou. Tak tvořily bariéru pro průchod elektrického proudu. Průměrně se u těchto vzorků elektrický odpor zvedl o 182,56 %.

Elektrický odpor také výrazně vzrostl u vzorků ze 100% polyesteru. Ze snímků je zřejmé, že vodivá pasta přesně pokryla reliéf samotné tkaniny a dostala se i na rubní stranu materiálu. Na lícni straně však vytvořila jen tenký povlak a ne spojitou vrstvu. Elektrický odpor vzrostl u vzorků po namáhání oproti vzorkům po natištění o 180,95 %.

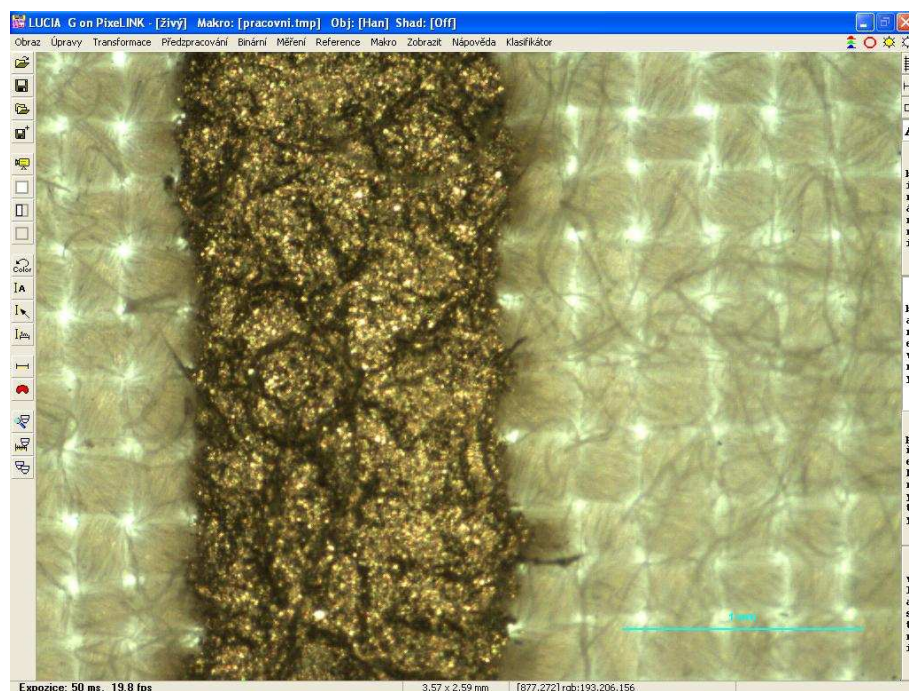
Nejméně vzrostl elektrický odpor u materiálu směsového – 50% bavlna/50% polyester. Průměrný rozdíl byl 120,63 %. A to i přesto, že na některých místech prošla pasta na rubní stranu materiálu.

Nejdůležitější tedy je, aby na povrchu textilie byla vytvořena spojitá vrstva vodivé pasty, ve které by nebyly žádné nečistoty či přilepená odstávající vlákna. Pasta by také neměla procházet na rubní stranu, a pokud se tak stane, tak v co nejmenší míře.

Detailní snímky pozorované pomocí programu Lucia

Detailní pozorování potištění bylo prováděno pomocí programu **Lucia G on PixeLINK** – verze 4.81 za použití kamery PixeLINK a sestavy makrooptiky.

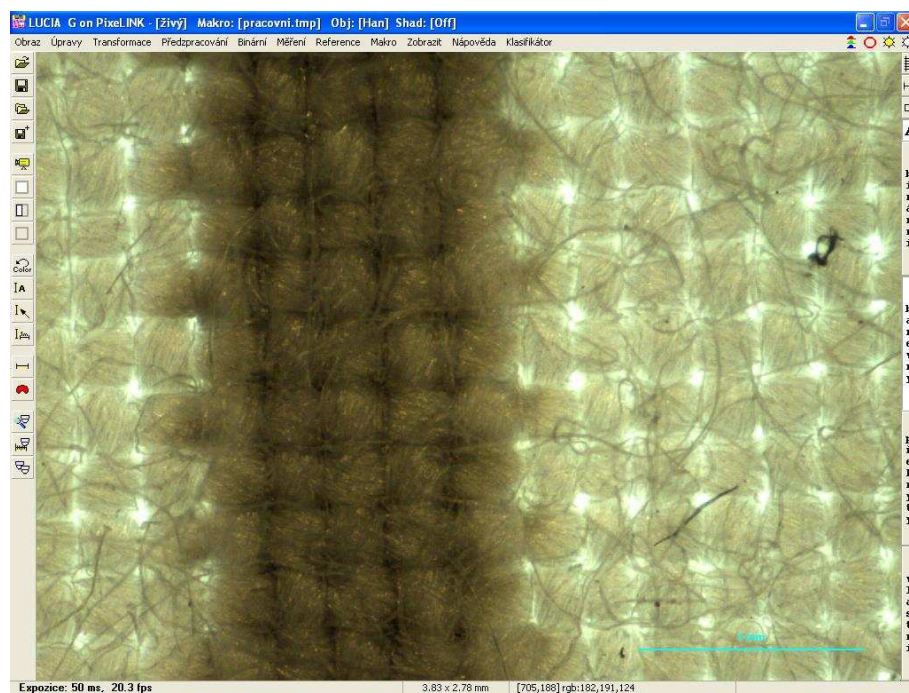
Vzorek byl vždy položen na speciální podsvícený stolek a byl ještě osvětlen zeshora z pravé i levé strany. Osvětlení se dá na tomto zařízení upravovat, aby byl získán co nejlepší snímek. Vzorek byl snímán makrooptikou a obraz se převedl do počítačového programu Lucia. Ten pak byl vždy zaostřen, nakalibrován a vyfocen.



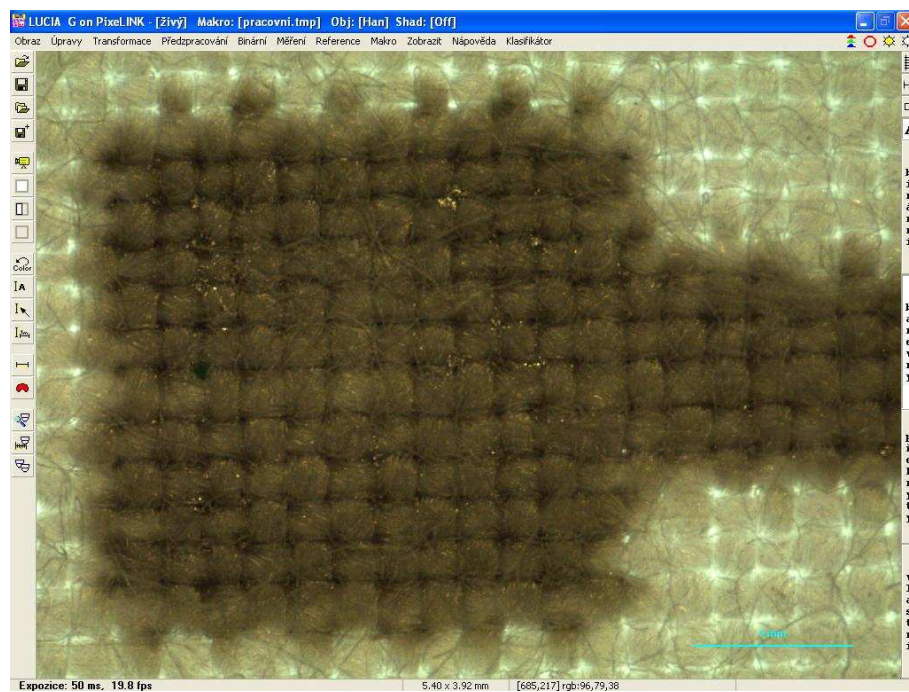
Obr. 56 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z lící strany



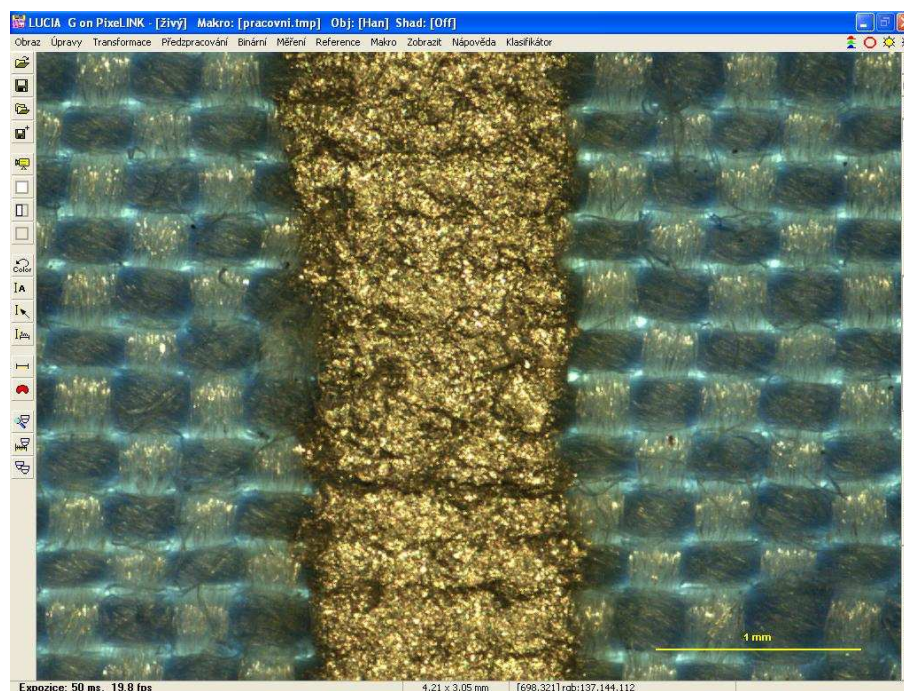
Obr. 57 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z lící strany



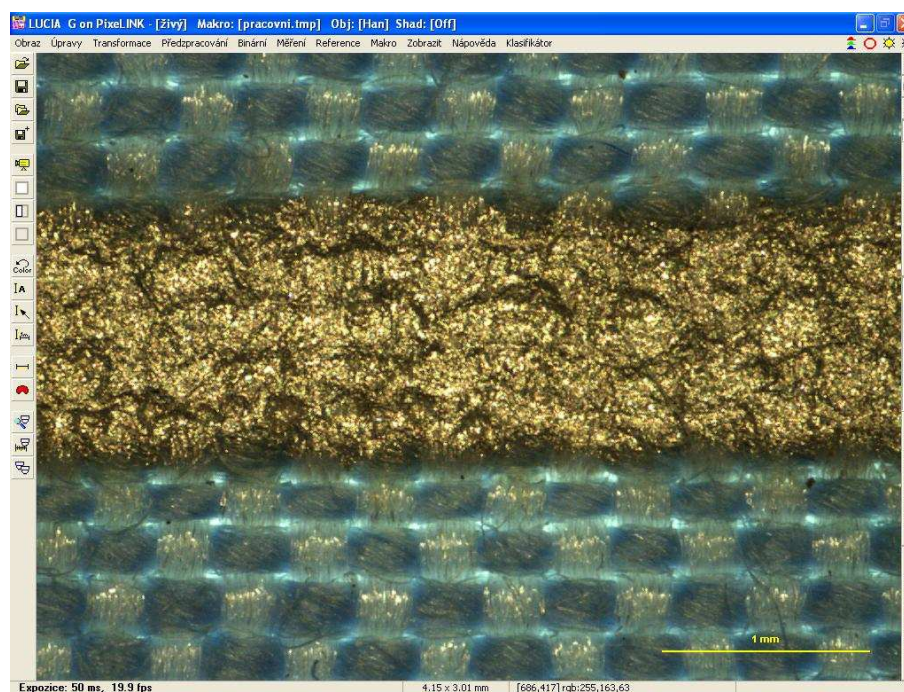
Obr. 58 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z rubní strany



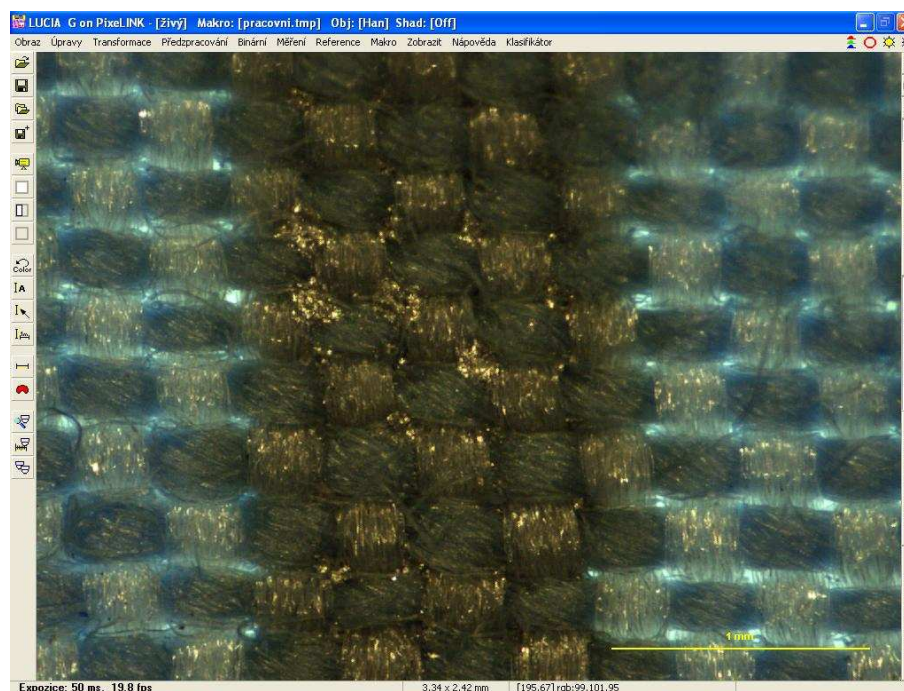
Obr. 59 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z rubní strany



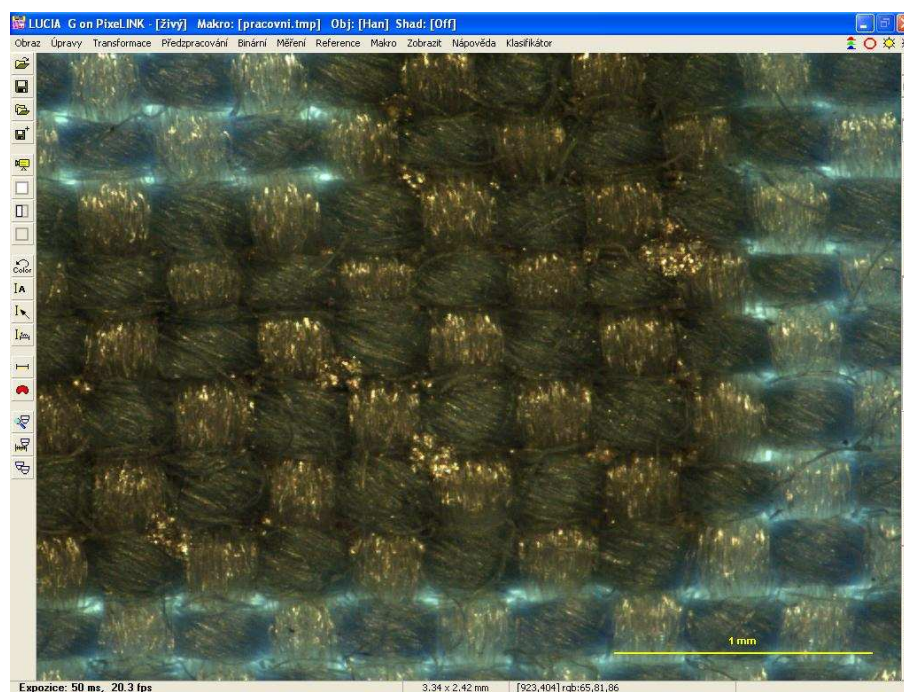
Obr. 60 Vodivá pasta na směrovém materiálu – pohled z lící strany



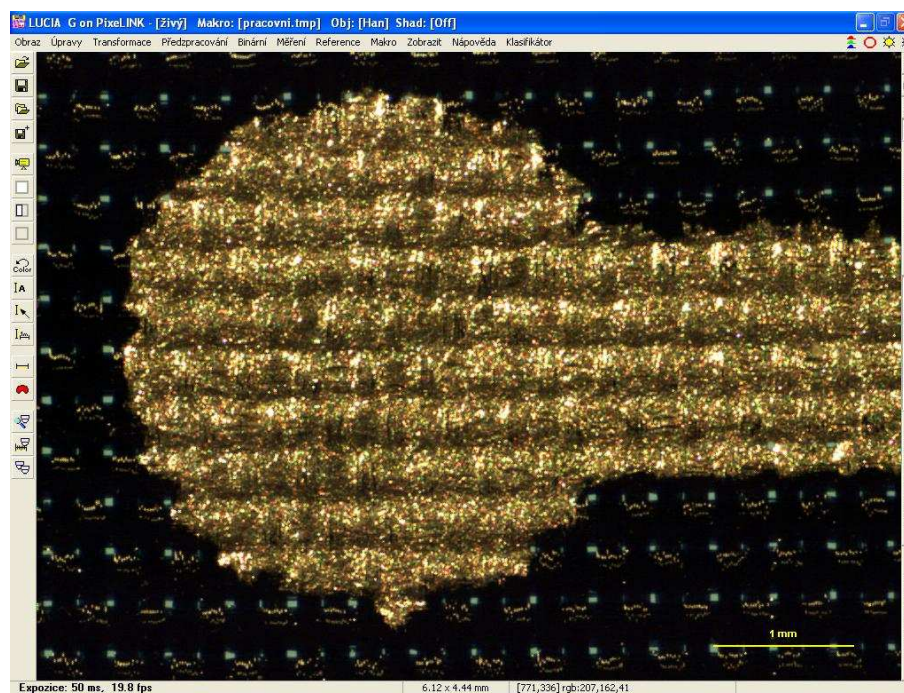
Obr. 61 Vodivá pasta na směrovém materiálu – pohled z lící strany



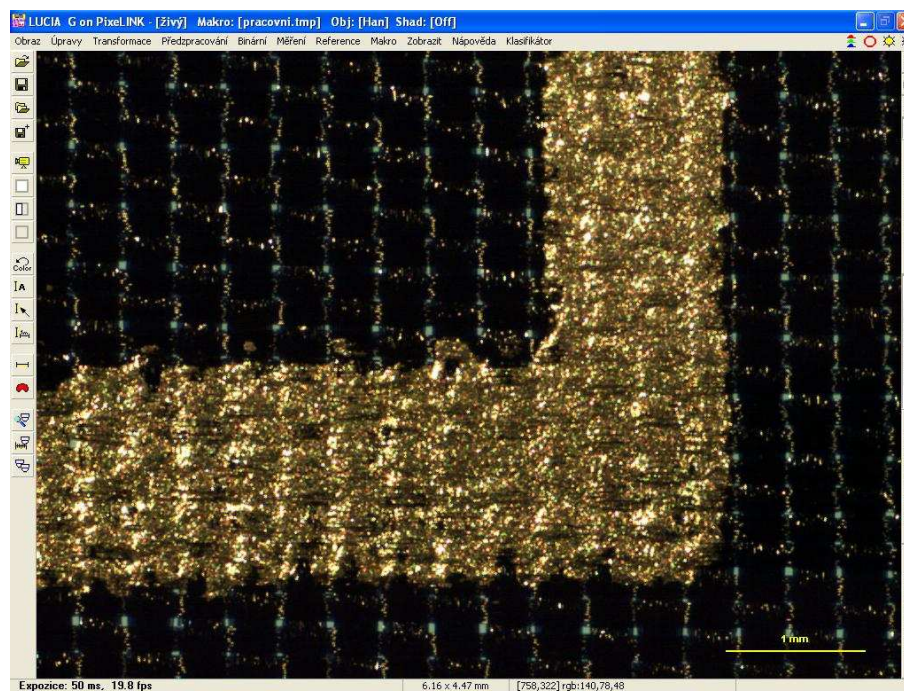
Obr. 62 Vodivá pasta na směrovém materiálu – pohled z rubní strany



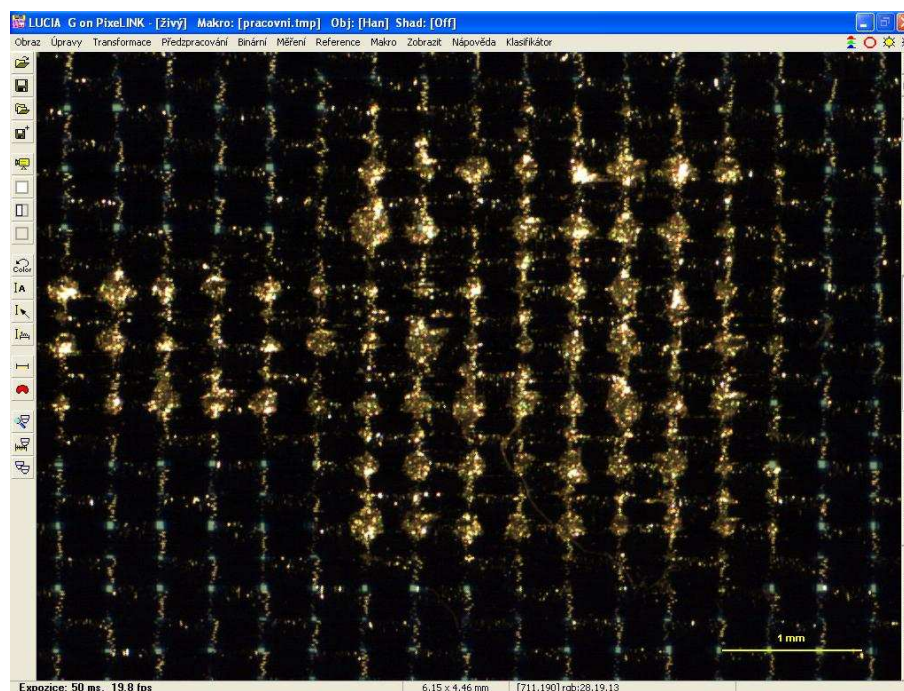
Obr. 63 Vodivá pasta na směrovém materiálu – pohled z rubní strany



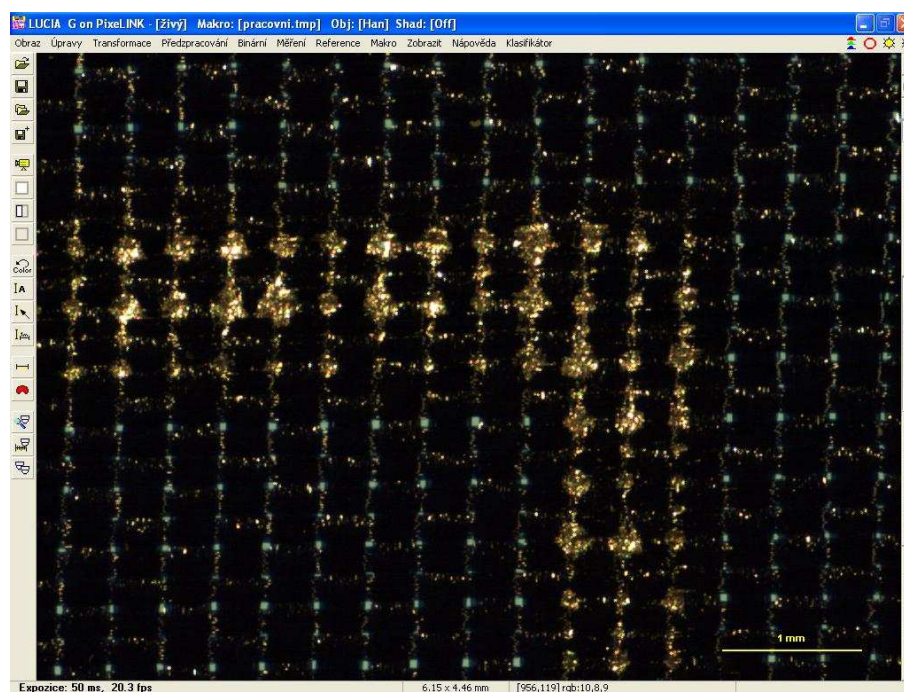
Obr. 64 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z lící strany



Obr. 65 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z lící strany



Obr. 66 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z rubní strany



Obr. 67 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z rubní strany

4.3 Ověření stability - změnou vlhkosti prostředí na vodivost pasty, následné měření odporu

Na textilií působí různé vlivy a to:

- vnější prostředí – teplota, relativní vlhkost prostředí, povětrnostní vlivy (slunce, vítr, déšť, ...),
- vnitřní prostředí – teplota a vlhkost organismu, chemické působení potu,

Je známo, že vlhkost zvyšuje vodivost materiálů. Měřené vzorky byly tedy v této části experimentu vystaveny působení různých vlhkostí.

Byly vybrány tyto hodnoty vlhkosti: 50, 60 a 70 % relativní vlhkosti prostředí. Vzorky byly umístěny v klimatizované místnosti po dobu 24 hodin. V této místnosti byla vždy teplota prostředí 21 °C. Nejprve byla nastavena vlhkost na nejnižší hodnotu, za 24 hodin byla hodnota zvýšena a po dalších 24 hodinách znovu. Jelikož byly vzorky umístěny v místnostech, kde se prováděly krátké experimenty, vlhkosti nikdy nedosáhly požadované hodnoty. Vzorky byly po mechanickém namáhání již zrelaxovány.

Následně byl na vzorcích měřen elektrický odpor pomocí digitálního multimetru. Toto měření probíhalo po působení těchto jednotlivých vlhkostí: 44, 55 a 69 % relativní vlhkosti prostředí.

Nejprve byla vlhkost nastavena na 50 %, ale této hodnoty vlhkost nedosáhla. Vzorky byly měřeny po působení 44% vlhkosti. Poté byly ponechány v laboratoři a vlhkost byla nastavena na 60 %. V místnosti však bylo dosaženo pouze 55 %, při které byly vzorky opět měřeny multimetrem. Vlhkost byla nakonec zvýšena až na 70 %. Tato vlhkost také nebyla dosažena. Poslední měření probíhalo při relativní vlhkosti 69 %.

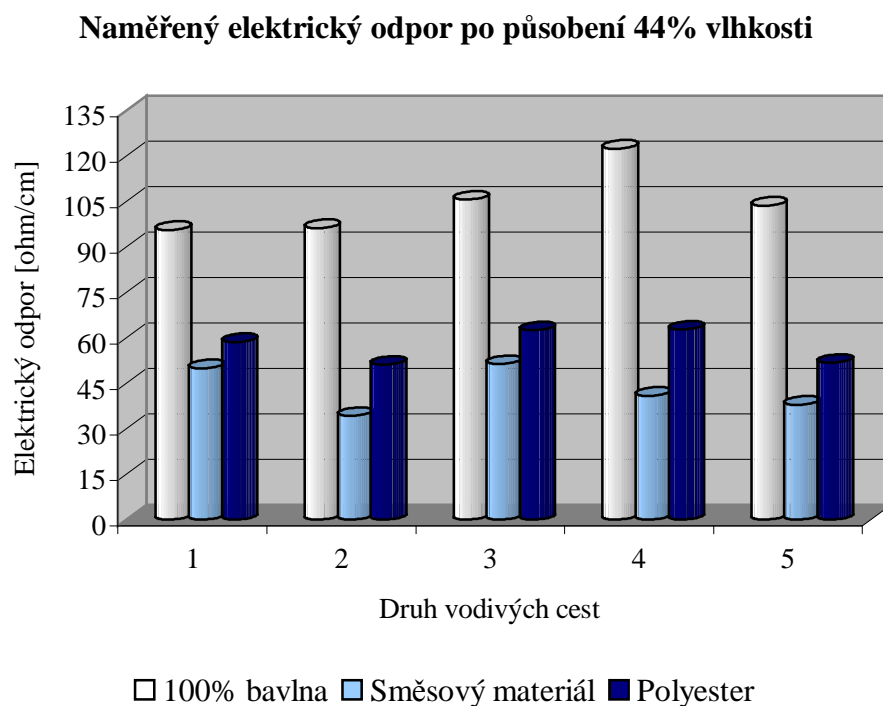
Po natištění nebyla měřena relativní vlhkost prostředí. Orientační vlhkost prostředí při měření byla cca.

4.3.1 Měření elektrického odporu po působení 44% vlhkosti

Tab. 5: Elektrický odpor naměřený po působení 44% relativní vlhkosti prostředí

Elektrický odpor R [Ω /cm] jednotlivých vodivých drah					
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% bavlna	94	95,71	111,67	117,27	108,46
	103,33	92,14	105,83	121,82	103,08
	89,33	100,71	99,17	128,18	99,23
Průměr	95,55	96,19	105,56	122,42	103,59
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
Bavlna/PE	47,33	30	41,67	36,36	34,62
	54,67	40,71	55	39,09	37,69
	48	32,14	57,5	47,27	41,54
Průměr	50	34,28	51,39	40,91	37,95
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% polyester	58	57,86	57,5	64,55	50
	59,33	53,57	61,67	59,09	56,92
	58,67	42,14	68,33	64,55	48,46
Průměr	58,67	51,19	62,5	62,73	51,79

Graf č. 4 Elektrický odpor vzorků měřený po působení 44% vlhkosti prostředí



Hodnoty elektrického odporu při 44% vlhkosti byly měřeny vzhledem k měření po mechanickém namáhání po delší době, materiál měl tedy čas se zrelaxovat. Tím se vlastnosti struktury přiblížili k původnímu stavu. Proto také došlo při působení vlhkosti ke značnému zvýšení naměřených hodnot.

Čím je doba relaxace delší, tím vyvolá náhlé působení namáhání výraznější změnu odporu.

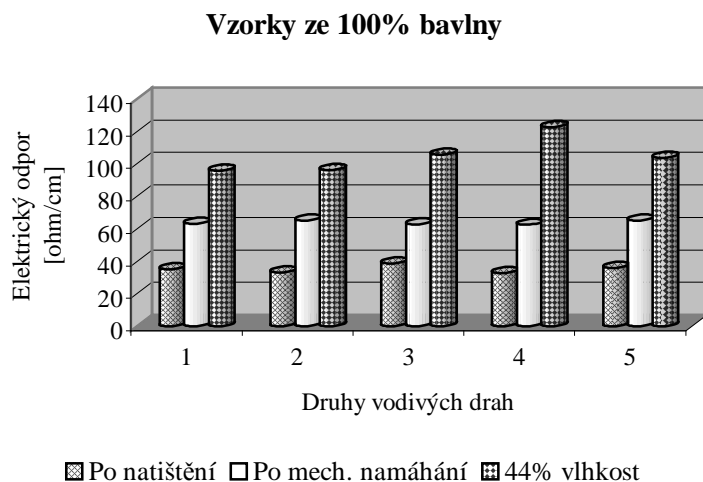
Vzájemné porovnání hodnot ze vzorků měřených po mech. namáhání a po působení 44% vlhkosti.

Tab. 6: Porovnání elektrického odporu po mech. namáhání a po působení 44% vlhkosti

Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vodivých drah u bavlněného materiálu			
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Po 44% vlhkosti [Ω/cm]	Změna odporu (mech. namáhání – 44% vlhkost) [%]
Č. 1	34,89	62,86	95,55	+ 52,00
Č. 2	33,10	64,72	96,19	+ 48,62
Č. 3	38,33	62,42	105,56	+ 69,11
Č. 4	32,42	62,31	122,42	+ 96,47
Č. 5	35,64	64,89	103,59	+ 59,64
Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vodivých drah u směsového materiálu			
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Po 44% vlhkosti [Ω/cm]	Změna odporu (mech. namáhání – 44% vlhkost) [%]
Č. 1	30,44	31,19	50	+ 60,31
Č. 2	29,05	33,89	34,28	+ 1,51
Č. 3	25,83	35,45	51,39	+ 44,96
Č. 4	31,21	34,10	40,91	+ 19,97
Č. 5	27,95	38,44	37,95	- 1,27
Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vodivých drah u polyesterového materiálu			
	Po natištění [Ω/cm]	Po namáhání [Ω/cm]	Po 44% vlhkosti [Ω/cm]	Změna odporu (mech. namáhání – 44% vlhkost) [%]
Č. 1	27,33	51,19	58,67	+ 14,61
Č. 2	32,62	57,79	51,19	- 11,42
Č. 3	34,72	58,23	62,5	+ 7,33
Č. 4	30,91	49,23	62,73	+ 27,42
Č. 5	26,15	55,78	51,79	- 7,15

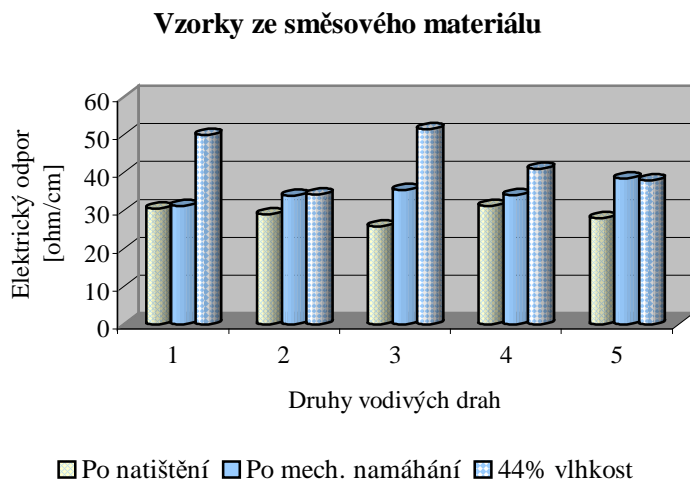
Graf č. 5

Hodnoty el. odporů
100% bavlněných
vzorků po mech.
namáhání a
působení 44%
vlhkosti



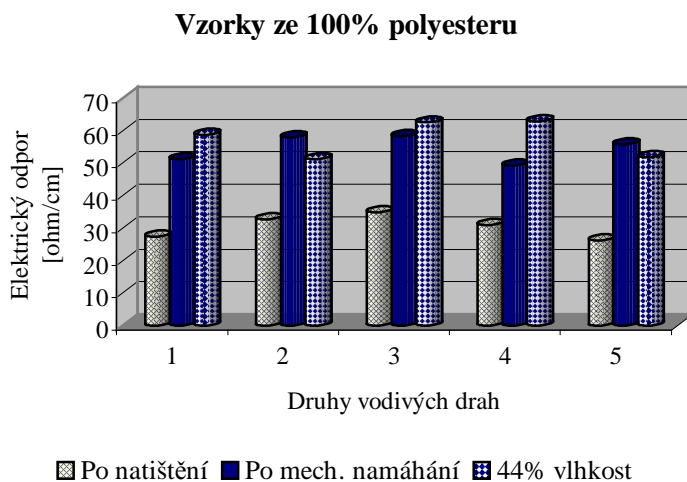
Graf č. 6

Hodnoty el. odporů
směšových
vzorků
po mechanickém
namáhání a
působení 44%
vlhkosti



Graf č. 7

Hodnoty el. odporů
100% polyesterových
vzorků
po mechanickém
namáhání a
působení 44%
vlhkosti



Z tabulky č. 6 a grafů č. 5 – 7 je zjevné, že se elektrický odpor zvýšil jak po mechanickém namáhání, tak i po působení 44% vlhkosti. Mechanické namáhání bylo prováděno na katedře oděvnictví při působení vyšší vlhkosti než 44 %. Jakmile tedy na vzorky začala působit nižší vlhkost, elektrický odpor jednotlivých vodivých drah se zvýšil.

K výraznému zvýšení elektrického odporu došlo u vzorků ze 100% bavlny a to průměrně o 165,17 %.

U vzorků světle modré barvy – ze směsového materiálu – došlo k podobně výraznému zvýšení pouze u dvou vzorků, u jednoho ze vzorků elektrický odpor dokonce poklesl o 1,27 %. U ostatních vzorků z tohoto materiálu odpor vzrostl jen minimálně. Průměrně se však elektrický odpor zvýšil o 125,1 %.

U vodivých drah na polyesterovém materiálu byl naměřen podobný elektrický odporu jako u měření po mechanickém namáhání. U tří ze vzorků došlo k mírnému nárůstu naměřených hodnot, u dvou dokonce k poklesu odporu. Průměrně se pak zvýšil o 106,16 %.

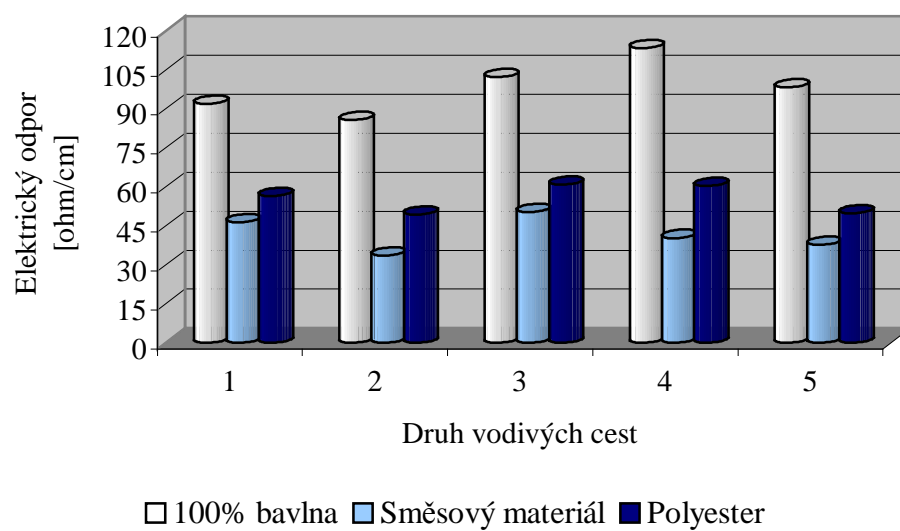
4.3.2 Měření elektrického odporu po působení 55% vlhkosti

Tab. 7: Elektrický odpor naměřený po působení 55% relativní vlhkosti prostředí

Elektrický odpor R [Ω /cm] jednotlivých vodivých drah					
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% bavlna	92	82,14	108,33	100,91	103,85
	96	82,14	100	113,64	98,46
	88	92,86	98,33	125,45	92,31
Průměr	92	85,71	102,22	113,33	98,21
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
Bavlna/PE	44	27,86	40,83	34,55	34,62
	50	40,71	53,33	40	36,92
	45,33	32,14	56,67	46,36	41,54
Průměr	46,44	33,57	50,28	40,3	37,69
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% polyester	58	55	56,67	62,73	48,46
	57,33	51,43	60,83	58,18	54
	54	41,43	65	60	46,92
Průměr	56,44	49,29	60,83	60,3	49,79

Graf č. 8 Elektrický odpor vzorků měřený po působení 55% vlhkosti prostředí

Naměřený elektrický odpor po působení 55% vlhkosti

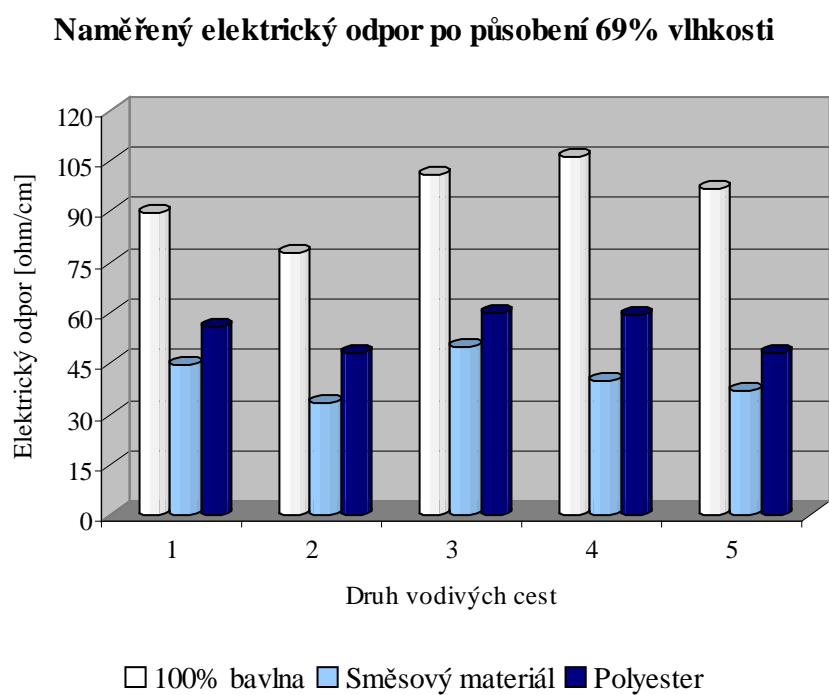


4.3.3 Měření elektrického odporu po působení 69% vlhkosti

Tab. 8: Elektrický odpor naměřený po působení 69% relativní vlhkosti prostředí

Elektrický odpor R [Ω /cm] jednotlivých vodivých drah					
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% bavlna	89,33	75	107,5	95,45	103,08
	94	75	97,5	106,36	96,92
	86	83,57	97,5	117,27	90
Průměr	89,78	77,86	100,83	106,36	96,67
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
Bavlna/PE	42	28,57	40,83	33,64	33,85
	48,67	40,71	51,67	39,09	36,92
	44	31,43	56,67	46,36	40,77
Průměr	44,89	33,57	49,72	39,7	37,18
Dráhy	Č. 1	Č.2	Č.3	Č.4	Č.5
100% polyester	57,33	53,78	55,83	61,82	46,92
	56,67	50,71	60,83	57,27	52,31
	53,33	40,71	64,17	59,09	46,15
Průměr	55,78	48,33	60,28	59,39	48,46

Graf č. 9 Elektrický odpor vzorků měřený po působení 69% vlhkosti prostředí



Vzájemné porovnání hodnot ze vzorků měřených při jednotlivých vlhkostech.

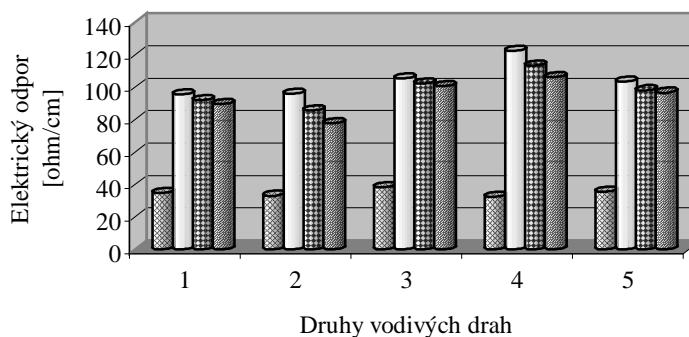
Tab. 9: Porovnání elektrického odporu po působení jednotlivých hodnot vlhkosti

Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vodivých drah u bavlněného materiálu				
	44% vlhkost [Ω/cm]	55% vlhkost [Ω/cm]	69% vlhkost [Ω/cm]	Změna odporu (44% - 55% vlhkost) [%]	Změna odporu (55% - 69% vlhkost) [%]
Č. 1	95,55	92	89,78	- 3,72	- 2,41
Č. 2	96,19	85,71	77,86	- 10,90	- 9,16
Č. 3	105,56	102,22	100,83	- 3,16	- 1,36
Č. 4	122,42	113,33	106,36	- 7,43	- 6,15
Č. 5	103,59	98,21	96,67	- 5,19	- 1,57
Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vodivých drah u směsového materiálu				
	44% vlhkost [Ω/cm]	55% vlhkost [Ω/cm]	69% vlhkost [Ω/cm]	Změna odporu (44% - 55% vlhkost) [%]	Změna odporu (55% - 69% vlhkost) [%]
Č. 1	50	46,44	44,89	- 7,12	- 3,34
Č. 2	34,28	33,57	33,57	- 2,07	0
Č. 3	51,39	50,28	49,72	- 2,16	- 1,11
Č. 4	40,91	40,3	39,7	- 1,49	- 1,49
Č. 5	37,95	37,69	37,18	- 0,69	- 1,35
Vodivé dráhy	Průměrný el. odpor jednotlivých vod. drah u polyesterového materiálu				
	44% vlhkost [Ω/cm]	55% vlhkost [Ω/cm]	69% vlhkost [Ω/cm]	Změna odporu (44% - 55% vlhkost) [%]	Změna odporu (55% - 69% vlhkost) [%]
Č. 1	58,67	56,44	55,78	- 3,8	- 1,17
Č. 2	51,19	49,29	48,33	- 3,71	- 1,95
Č. 3	62,5	60,83	60,28	- 2,67	- 0,9
Č. 4	62,73	60,3	59,39	- 3,87	- 1,51
Č. 5	51,79	49,79	48,46	- 3,86	- 2,67

Graf č. 10

Elektrický odpor
100% bavlněných
vzorků u
jednotlivých
vlhkostí

Vzorky ze 100% bavlny

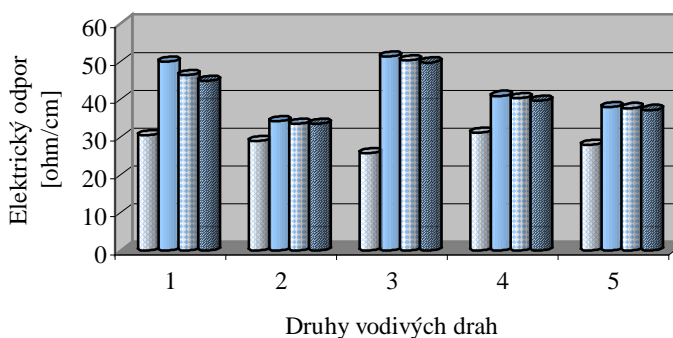


■ Po natištění □ 44% vlhkost ▨ 55% vlhkost ▩ 69% vlhkost

Graf č. 11

Elektrický odpor
směsových
vzorků
u jednotlivých
vlhkostí

Vzorky ze směsového materiálu

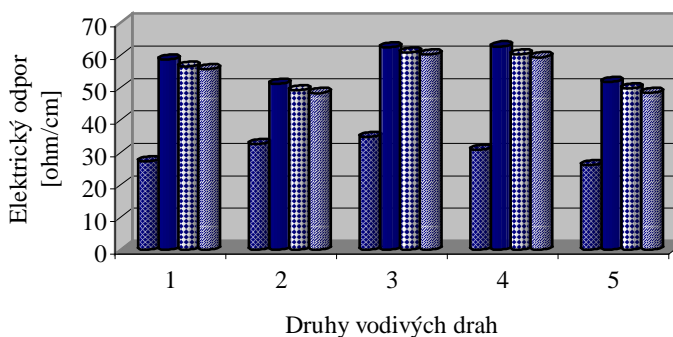


□ Po natištění ■ 44% vlhkost ■ 55% vlhkost ■ 69% vlhkost

Graf č. 12

Elektrický odpor
100% polyesterových
vzorků
u jednotlivých
vlhkostí

Vzorky ze 100% polyesteru



■ Po natištění ■ 44% vlhkost ■ 55% vlhkost ■ 69% vlhkost

V tabulce č. 9 a v grafech č. 10 – 12 jsou porovnávány hodnoty elektrického odporu při působení jednotlivých vlhkostech prostředí – a to 44, 55 a 69% relativní vlhkosti. Celkové výsledky ukazují klesající tendenci elektrického odporu při zvyšující se vlhkosti. Vyšší vlhkost tedy zlepšuje vodivost pasty na textiliích.

Největší rozdíly hodnot byly zaznamenány u materiálu ze 100% bavlny. Průměrné snížení odporu mezi 44 a 55% vlhkostí bylo 6,08 %, mezi 55 a 69% vlhkostí bylo průměrné snížení 4,13 %. Bylo také naměřeno jedno vybočující měření.

Méně výrazné pak byly hodnoty u ostatních dvou materiálů. Rozdíl mezi 44 a 55% vlhkostí byl u směsového materiálu v průměru 2,71, mezi 55 a 69% vlhkostí jen 1,46 %. Vyskytlo se také jedno vybočující měření, které se od ostatních hodnot lišilo až trojnásobně.

U materiálu ze 100% polyesteru byl průměrný rozdíl mezi prvními dvěma vlhkostmi 3,58 % a u dalších dvou 1,64 %. Tyto hodnoty také nejméně kolísaly a nevyskytlo se žádné vybočující měření.

4.4 Diskuse výsledků z měření jednotlivých vzorků

V úvodu experimentu byly textilie potištěny vodivou pastou podle vzoru na sítu. Nejlépe byla natištěna textilie ze směsového materiálu (50 % bavlna/ 50 % polyester). Šíře těchto natištěných vodivých drah byla stejná jako šíře cest na sítu – 1 mm. Materiál ze 100% bavlny měl vodivé dráhy široké 1,5 mm. A u materiálu ze 100% polyesteru byly vodivé cesty natištěny dokonce až v šířce 2 mm.

Po natištění vodivého vzoru na textilie byl na vzorcích měřen elektrický odpor. Elektrický odpor byl měřen pomocí digitálního multimetru firmy RTO DMM 3800, měřící s přesností 2 %.

Z celkového porovnání hodnot však vyplývá, že se u některých vzorků vyskytují vybočující měření. Variabilita naměřených hodnot elektrického odporu na jednotlivých vzorcích je zapříčiněna různými vodivými cestami. U každé cesty došlo k jinému natištění. Na pohled to zřejmé není. Mohlo dojít k mírnému kolísání přítlaku stěrky při tisku a došlo k přimíchání různého množství odstávajících vláken podkladového materiálu. Proto se každá vodivá cesta při měření chovala jinak.

Mezi vybočující měření patří hodnoty, které jsou hodnotově mnohem vyšší nebo naopak nižší než ostatní. Tato vybočující měření jsou způsobena defektem vodivé cesty. Za defekt lze považovat přerušení vodivé cesty nečistotou, mechanickým porušením nebo vzduchovou bublinou.

Mechanické porušení nebylo na žádném ze vzorků pozorováno. Za defekty v tomto experimentu lze považovat nečistoty, respektive odstávající vlákna podkladového materiálu. Další defekt je tvořen tím, že vodivá pasta proniká do reliéfu povrchu materiálu, a tím zamezuje vytvoření souvislé hladké vrstvy. Větší proniknutí pasty do struktury tkaniny se projevilo u vzorků tmavě modré barvy – ze 100% polyesteru.

Elektrický odpor vzorků byl měřen nejprve po samotném natištění. V tuto chvíli se nevyskytovala žádná vybočující měření. Průměrná hodnota el. odporu bavlněného materiálu byla $34,88 \Omega/\text{cm}$, u směsového materiálu byl průměrný odpor $28,90 \Omega/\text{cm}$ a u polyesterového $30,35 \Omega/\text{cm}$. Nejnižší hodnota odporu patří nejlépe natištěnému materiálu.

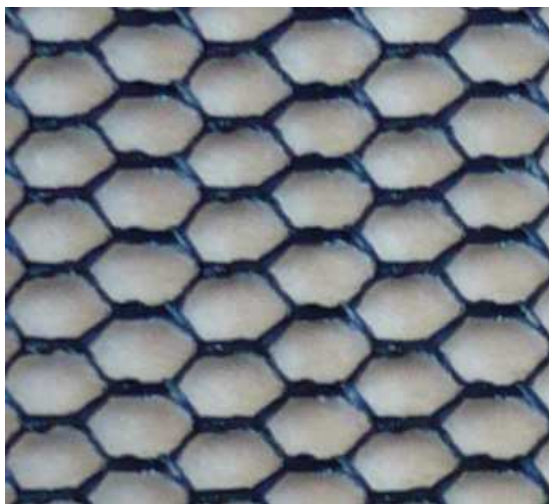
Po natištění byly vzorky namáhány na ohyb a tlak a poté byl opět měřen elektrický odpor jednotlivých vodivých drah. Průměrná hodnota el. odporu bavlněného materiálu byla $63,44 \Omega/\text{cm}$, u směsového materiálu byl průměrný odpor $34,62 \Omega/\text{cm}$ a u polyesterového $54,44 \Omega/\text{cm}$. Nejmenší elektrický odpor byl opět u nejlépe natištěných vzorků. Nebyla zaznamenána žádná vybočující měření. Elektrický odpor se zvýšil oproti hodnotám po natištění o 181,88 %, 119,79 % a 179,37 %.

Nakonec byly vzorky vystaveny třem druhům relativní vlhkosti prostředí. Elektrický odpor bavlněných vzorků byl v průměru $104,66 \Omega/\text{cm}$ u 44% vlhkosti, $98,29 \Omega/\text{cm}$ u 55% vlhkosti a $94,3 \Omega/\text{cm}$ při 69% vlhkosti. Směsový materiál měl průměrný elektrický odpor $42,91 \Omega/\text{cm}$ při 44% vlhkosti, $41,66 \Omega/\text{cm}$ u 55% vlhkosti a $41,01 \Omega/\text{cm}$ při 69% vlhkosti. A polyesterový materiál $57,38 \Omega/\text{cm}$ při 44% vlhkosti, $55,33 \Omega/\text{cm}$ při 55% vlhkosti a $54,45 \Omega/\text{cm}$ při 69% vlhkosti. S růstem vlhkosti byla pozorována tendence zvyšující se vodivosti potištěných drah.

4.5 Praktické sestavení klávesnice

Klávesnice byla sestavena metodou s principem spínače. Jak již bylo uvedeno v podkapitole 4.1.2 o přípravě síta, proud systémem protéká pouze v případě spojení dvou vodivých vrstev. Tedy při stisku klávesy. Musí však být zamezeno tomu, aby se jednotlivé vrstvy s vodivou pastou dotýkaly. Tím by docházelo k proudění elektrického proudu v době, kdy je tento jev nežádoucí. U každého typu klávesnic byla použita rozdělovací vrstva, která dovolí setkání dvou vodivých vrstev při stisku klávesy a zároveň nedovolí tomuto setkání v době, kdy je klávesnice nepoužívána.

Jako rozdělovací vrstva byla použita pletenina – síťovina - ze 100% polyamidu firmy Sitexim se skutečnou velikostí ok 1,5 mm.



Obr. 68 Detail síťoviny

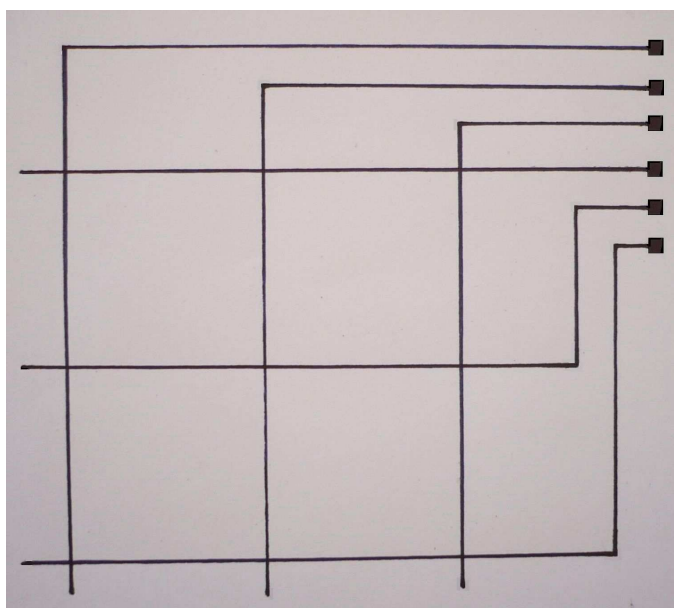
Celkem bylo vytvořeno pět druhů vodivých cest. Z těchto materiálů byly sestaveny tři varianty klávesnic.

Varianta A:

U této varianty byl použit pouze jeden typ vodivých cest – typ č. 1. Jelikož není k dispozici druhá vrstva s vodivými cestami, musí být použita vrchní textile s vodivou fólií na rubní straně v místě tlačítka. Mezi tyto dvě vrstvy byla vložena oddělovací síťovina ze 100% polyamidu.

Varianta B:

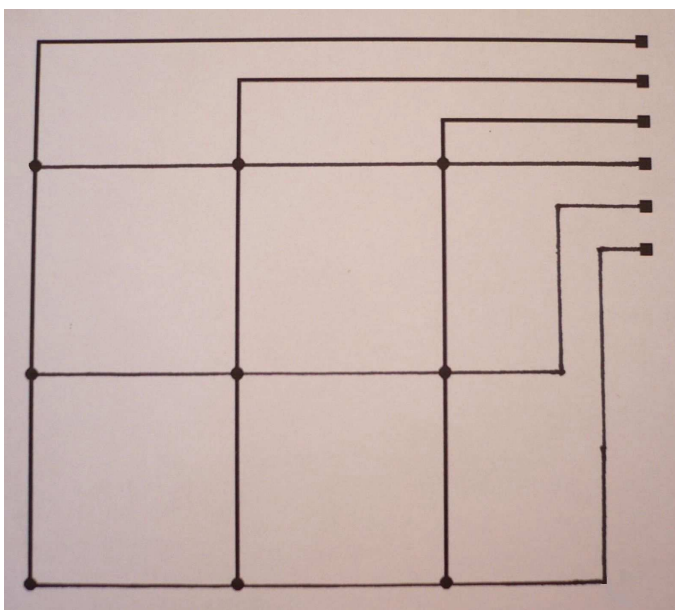
Pro druhou variantu klávesnice byly použity dvě vrstvy s vodivými cestami. A to dráhy č. 2 a 3. Byly uloženy tak, aby se jejich dráhy křížily v místě tlačítek. Mezi těmito textiliemi je opět rozdělovací síťovina.



Obr. 69 Křížení vodivých drah u varianty B

Varianta C:

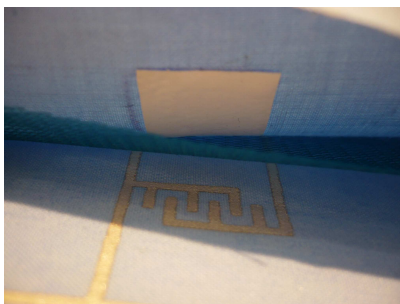
Pro variantu C byly použity dvě vrstvy s vodivými cestami č. 4 a 5. Byly opět uloženy tak, aby se jejich dráhy křížily v místě tlačítek. Tyto dvě textilie rozděluje vrstva ze síťoviny.



Obr. 70 Křížení vodivých drah u varianty C

Z kapitoly 4.3 je zřejmé, že vlhkost prostředí ovlivňuje vodivost vodivých drah. To by v tomto případě mohlo být ku prospěchu a zvyšovat vodivost jednotlivých tlačítek. Jestliže se do klávesnice dostane vlhkost kapalná, může na vodivost celé klávesnice působit negativně a zapříčinit její zničení. Z tohoto důvodu by měla být klávesnice před kapalnou vlhkostí (deštěm, sněhem) chráněna nepropustným obalem, aby se tyto jevy eliminovaly. Vrchní i spodní textilie oděvu by měly být v místě klávesnice pogumované či alespoň chráněné proti průniku kapaliny membránou.

Varianta A:

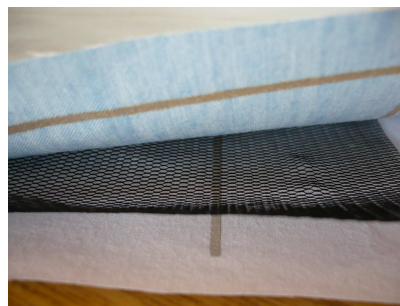
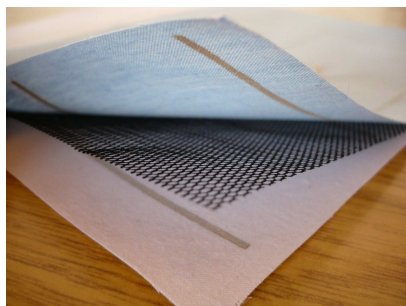


Obr. 71 Složení vrstev u varianty A

U první varianty byly vrstvy složeny v tomto pořadí:

1. vrchní vrstva – textilie s tlačítky, celý povrch je ze spodní strany pogumovaný a v místech, kde jsou tlačítka je nanесena vodivá guma či fólie (chrání proti průniku kapaliny z vnějšího prostředí),
2. dělicí síťovina ze 100% polyamidu,
3. textilie s nanесenými vodivými drahami,
4. spodní vrstva – textilie chránící proti průniku kapalnэ vlhkosti od těla.

Varianta B:



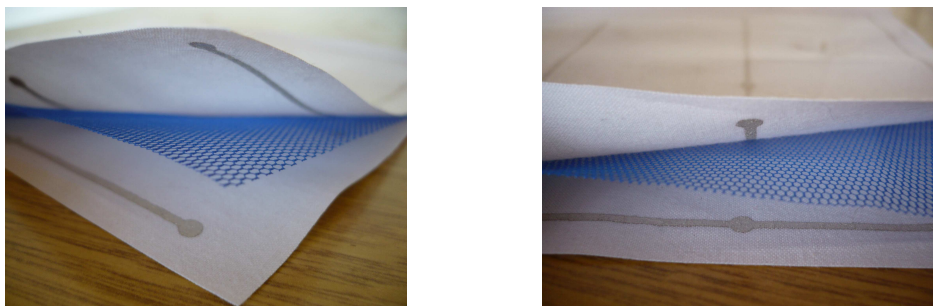
Obr. 72 Složení vrstev u varianty B

U varianty B a C bylo při složení klávesnice zjištěno, že vždy jeden z návrhu byl na tiskací síto položen obráceně. Koncové body vodivých drah se tak neshlukují v jednom místě klávesnice. Další vliv na funkci klávesnice tato změna nemá.

U varianty B byly vrstvy složeny v tomto pořadí:

1. vrchní vrstva – textilie s tlačítky, celý povrch je ze spodní strany pogumovaná a v místech, kde jsou tlačítka je nanесena vodivá guma či fólie (chrání proti průniku kapaliny z vnějšího prostředí),
2. první textilie s nanесenou vodivou pastou,
3. dělicí síťovina ze 100% polyamidu,
4. druhá textilie s nanесenými vodivými drahami,
5. spodní vrstva – textilie chránící proti průniku kapalné vlhkosti od těla.

Varianta C:



Obr. 73 Složení vrstev u varianty C

U třetí varianty byly vrstvy složeny v tomto pořadí:

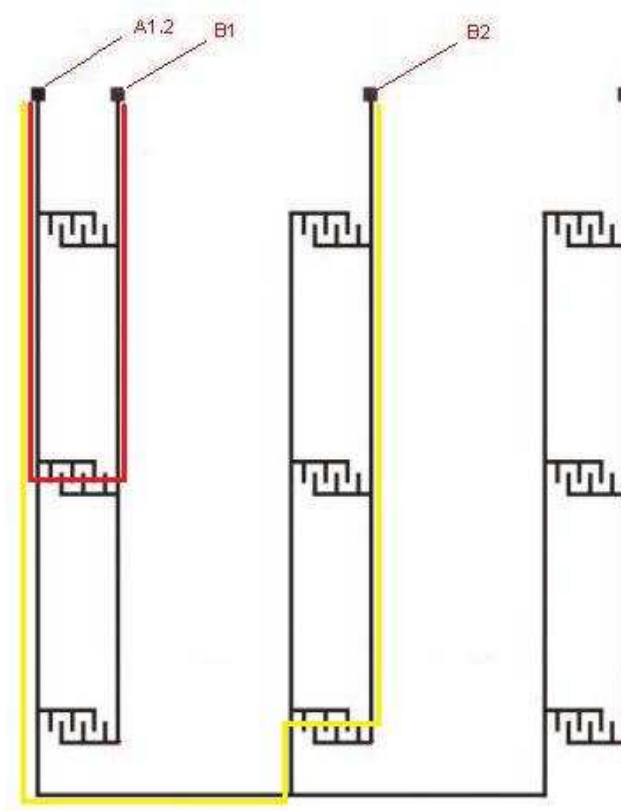
1. vrchní vrstva – textilie s tlačítky, celý povrch je ze spodní strany pogumovaná a v místech, kde jsou tlačítka je nanесena vodivá guma či fólie (chrání proti průniku vlhkosti z vnějšího prostředí),
2. první textilie s nanесenou vodivou pastou,
3. dělicí síťovina ze 100% polyamidu,
4. druhá textilie s nanесenými vodivými drahami,
5. spodní vrstva – textilie chránící proti průniku kapalné vlhkosti od těla.

4.5.1 Měření elektrického odporu sestavené klávesnice

Po celkovém složení všech vrstev klávesnice byla provedena zkouška vodivosti. K měření elektrického odporu byl opět použit **Digital Multimeter DMM-3800** firmy RTO (viz obr. 52 na straně 64).

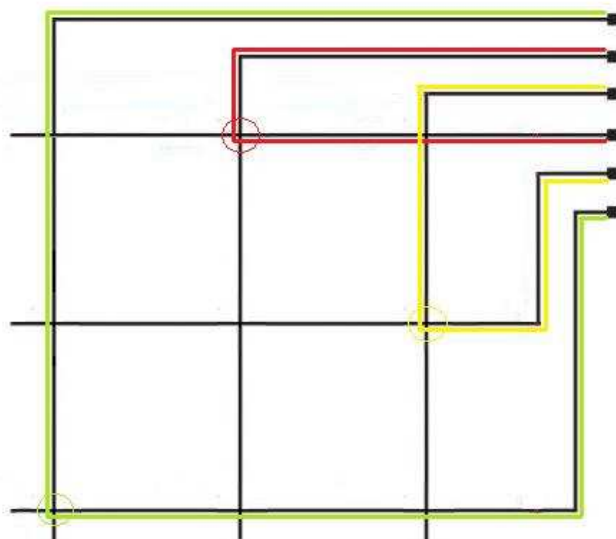
Hodnoty byly měřeny takto: první elektroda digitálního multimetru byla přiložena ke koncovému bodu vodivé dráhy vrchní textilie a druhá elektroda ke koncovému bodu dráhy na spodní textili. Tyto dráhy se pak spojily při stisku klávesy, která byla součástí obou vodivých drah a byl změřen elektrický odpor. Takto se postupovalo u všech tlačítek.

Měření vodivosti u varianty A:



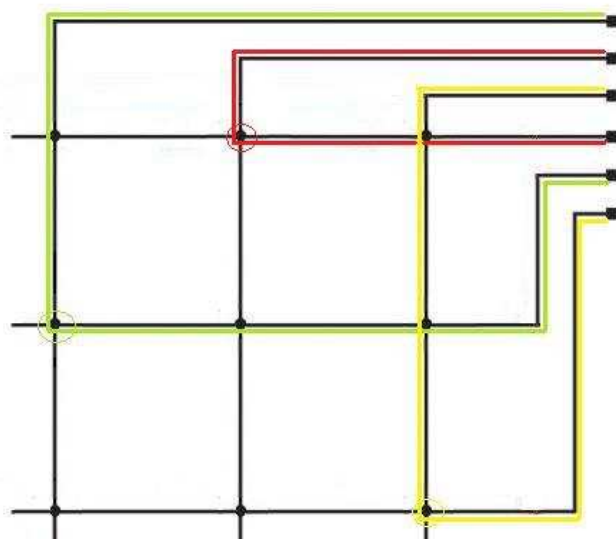
Obr. 74 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty A

Měření vodivosti u varianty B:



Obr. 75 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty B

Měření vodivosti u varianty C:



Obr. 76 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty C

U varianty A bylo prováděno měření vodivosti pouze na spodní textilií. Elektrody byly přikládány vždy v bodech A1 a B1, A2 a B2, atd. Přiložením vodivého materiálu na příslušnou klávesu se jednotlivé vodivé dráhy propojily a byl měřen elektrický odpor. Viz obr. 74.

Jako vodivý materiál byla použita vodivá fólie, která je umístěna na spodní straně tlačítek, která jsou znázorněna na vrchní textilií.

Bohužel ani v jednom případě nebyla naměřena požadovaná hodnota. Display digitálního multimetru ukazoval číslo 1, což znamená, že materiál není schopný vést elektrický proud (viz obr. č. 77).



Obr. 77 Display digitálního multimetru

Pro zlepšení vodivosti byla vyjmuta dělicí síťovina a měření bylo opakováno, avšak se stále stejným výsledkem.

U varianty B jsou již dvě vrstvy textilie s vodivými drahami. Při stisku klávesy dojde k jejich spojení a tím se systém zaktivuje a začne vodit elektrický proud. K měření vodivosti byl opět použit digitální multimetr a byly měřeny dráhy v místě všech tlačítek. Na obr. 75 jsou pro ukázkou znázorněna tři tlačítka.

Bylo však zjištěno, že při stisku kláves je systém opět nevodivý. Display digitálního multimetru ukazoval č. 1.

Elektrický odpor vodivých drah byl měřen také při stisku kláves bez dělicí síťoviny, ale ani to nezajistilo vodivost systému.

U varianty C byl průběh zkoušky stejný jako u varianty B. Proběhlo měření elektrického odporu vodivých drah všech tlačítek a u všech měření zobrazoval display digitálního multimetru č. 1.

Elektrický odpor v místě tlačítek se zvyšuje a při stisku klávesy tak již nelze zajistit vodivost systému. Klávesnice tedy v této fázi experimentu není schopna vést elektrický proud.

Elektrický odpor vodivých drah byl měřen opět také při stisku kláves bez dělicí síťoviny, ale ani to nezajistilo vodivost systému.

Důvod ztráty vodivosti

Důvodem ztráty vodivosti je vyšší elektrický odpor vodivé pasty. Tím, že se chloupky zejména bavlněného materiálu smísily s vodivou pastou, se zapříčinilo zvýšení elektrického odporu dráhy. Chloupky vytvořily ve vrstvě bariéry pro průchod elektrického proudu. A jelikož se pro sestavení klávesnic použily u variant B a C dvě vrstvy textilie s nanesenou vodivou pastou, elektrický odpor obou vrstev se sečetl a tím zvýšil natolik, že soustava se stala nevodivou.

4.5.2 Teoretické zapojení klávesnice do oděvu

Tato klávesnice by měla v praxi sloužit jako ovládání externího zařízení (např. MP3 přehrávače, atd.), které se nachází v jiné části oděvu. Kapsa na toto zařízení musí být umístěna ve vnitřní části oděvu, aby bylo zařízení chráněno před nepříznivými vnějšími vlivy. Naopak klávesnice by měla být umístěna pod vnější vrstvou oděvu. Na této vnější vrstvě pak budou znázorněna jednotlivá tlačítka. Z důvodu větších rozměrů klávesnice z tohoto experimentu by bylo její umístění vhodné na předním díle oděvu. Klávesnice menších rozměrů se pak dá umístit např. na rukáv oděvu.

Spínaná místa jednotlivých tlačítek celé klávesnice musí být svedena do jednoho prostoru klávesnice a ven mohou být vyvedena několika způsoby.

Vodivými přízemi

Na koncové body jednotlivých vodivých drah mohou být vodivým lepidlem přilepeny vodivé nitě, které každou vodivou dráhu dovedou až ke konektoru, na který bude připojeno externí zařízení. Tyto vodivé nitě budou vyšity na podkladový materiál, konečný bod celé dráhy pak bude ústít ke konektoru v náprsní kapse oděvu.

Výhodou tohoto způsobu je vysoká ohebnost vodivých přízí a vyšší vodivost zajišťující správný přenos elektrického signálu od tlačítka ke konektoru. Další výhodou je snadné a rychlé vytvoření takovéto cesty pomocí technologie vyšívání. Díky ohebnosti vodivých přízí by byl zajištěn i komfort při nošení.

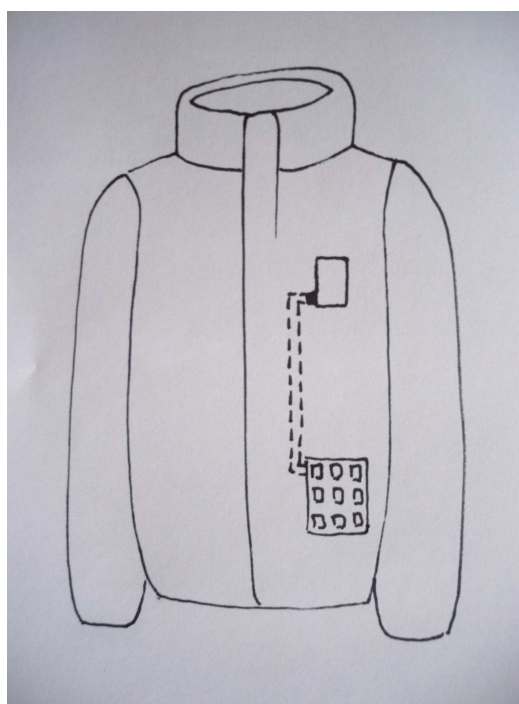
Vodivou pastou

Pro přenos signálu až ke konektoru může být použita stejná metoda jako u samotné klávesnice – tedy textilní tisk. Výhodou by bylo použití stejné technologie – použije se stejný materiál, technologie je časově méně náročná než při použití dvou rozdílných. Ovšem tato metoda by byla účinná pouze tehdy, pokud by byla vylepšena celá tato metoda tisku vodivou pastou na textilií a pokud by se zajistila vodivost celé soustavy.

Tenkými izolací potaženými drátky

U této varianty by mohly být na koncové body vodivých drah naletovány jemné drátky, které by zajišťovaly přenos signálu. Opět by byly připojeny ke konektoru, který by se nacházel v náprsní kapse oděvu.

Výhodou tohoto způsobu je fakt, že materiály na výrobu takovýchto drátků jsou 100% vodivé. Nevýhodou však je, že může dojít při ostrém přehybu k jeho zlomení. A pokud bude tento vývod použit pro klávesnici na oděvu, jistě díky jeho větší tuhosti (díky izolaci) zhorší komfort výrobku při nošení.



Obr. 78 Klávesnice umístěná ve spodní části předního dílu oděvu



Obr. 79 Klávesnice umístěná v horní části předního dílu oděvu



Obr. 80 Klávesnice umístěná na rukávu oděvu

Propojení samotné klávesnice s externím zařízením může v této době probíhat např. bezdrátovým spojením – tzv. technologií Bluetooth. Tato technologie je vlastně nenákladná náhrada kabelového propojení mezi zařízeními výpočetní techniky jako jsou mobily, počítače, notebooky nebo PocketPC. Technologie slouží k bezdrátovému přenosu dat na krátké vzdálenosti (10 – 100 metrů podle výkonu vysílače). Pracuje na frekvenci 2,4 GHz. Signál při vysílání přeskakuje 1600x za sekundu na různé kmitočty. Přenosová rychlost může dosahovat až 1 Mbit/s. [40]

Podmínkou však je, aby klávesnice byla připevněna k vysílači a v náprsní kapse pro externí zařízení musí být přijímač, který zachycené signály předává např. MP3 přehrávači.

Výhodou tohoto připojení je vysoká spolehlivost a mezi jednotlivými zařízeními tak nemusí být vytvořené vodivé cesty.

Způsoby takového připojení by pak mohlo být základem pro další diplomovou práci.

5. Závěr

Cílem práce byla tvorba elektricky vodivých textilních struktur, pro které byla zvolena technologie sítotisku. Úkolem bylo provedení rešerše dané problematiky, navržení modelu elektricky vodivé textilní struktury určené pro přenos signálu, realizace modelu a provedení experimentu pro ověření charakteristik dané textilní struktury.

Teoretická část práce se zabývá problematikou inteligentních textilií. Představuje jednotlivé výrobky, které obsahují tyto textilie a jsou již na trhu. Popisuje také jednotlivé možnosti tvorby elektricky vodivých textilií – pomocí vyšívání, vetkání vodičů přímo do textilie, pomocí tisku či pokovení povrchu.

Experimentální část práce se pak zaměřuje na samotný model takovéto elektricky vodivé textilní struktury pomocí technologie tisku.

V první části byly vybrány materiály, které by byly vhodné pro textilní tisk vodivou pastou. Dále byly vytvořeny různé varianty vodivých cest pomocí vektorové grafiky. Namíchána vodivá pasta s příměsí stříbra, která se přes síto tiskla na vybrané podkladové materiály. Na takto vytvořených elektricky vodivých textilních strukturách byla informativně ověřována funkčnost a mechanická odolnost vůči ohybu a tlaku a stabilita vlastností při působení třech různých relativních vlhkostí prostředí. Nakonec byly vytvořeny tři základní modely klávesnic a zjišťována jejich schopnost vést elektrický proud v celku. V poslední části práce bylo uvedeno teoretické zapojení klávesnice do oděvu.

Nyní k jednotlivým částem práce. Co se týče tisku, materiál, který byl vybrán pro textilní tisk, není přímo vhodný pro takovýto experiment. Byly vybrány vzorky z bavlněného, směsového a polyesterového materiálu. Nejlépe byl natištěn materiál směsový, šíře vodivých cest byla přesně podle šíře síta = 1 mm, i když byla pasta částečně propuštěna na rubní stranu polyesterovým materiálem.

Polyesterový vzorek byl naopak natištěn nejhůře. Vodivá pasta se rozpila až na 2 mm, kopírovala povrch vazby a byla propuštěna na rubní stranu. U bavlněného materiálu byla šíře natištěných vodivých drah 1,5 mm, pasta nebyla propuštěna na rubní stranu.

Na takto natištěných vzorcích bylo provedeno mechanické namáhání na ohyb a tlak. Namáhání se provedlo pouze informativně, proto nebylo provedeno cyklicky. Bylo zjišťováno, zda mechanické namáhání vůbec působí na zvýšení elektrického odporu či nikoliv. Nebylo cílem zjistit, po kolika opakování dochází k poškození vrstvy. Elektrický odpor po mechanickém namáhání je nejvyšší u vzorků z 100% bavlny, nejnižší u vzorků ze směsového materiálu bavlna/polyester. Vyšší elektrický odpor byl naměřen také na materiálu ze 100% polyesteru, který propouští vodivou pastu na rubní stranu.

Po tomto mechanickém namáhání byly vzorky pozorovány pomocí makrooptické soustavy programem Lucia G. Důvodem bylo zjištění, jak vypadá detail natištěné pasty. Na vzorcích, které obsahují alespoň nějaký podíl bavlněných přízí, je zřejmé, že z tohoto materiálu odstávají chloupky, které se mísí s vodivou pastou. Tak tvoří ve vodivé dráze bariéry pro průtok elektrického proudu. Při mechanickém namáhání se pak chloupky pohybují a rozrušují vodivou pastu. U směsového materiálu je vidět míra protečení pasty na rubní stranu vzorku. Na polyesterovém vzorku je zřejmé, že pasta pronikla na rubní stranu materiálu ve značné míře a tak i na lící straně jen kopíruje povrch vazby a netvoří spojitou vrstvu.

Dále byly vzorky vystaveny působení třech druhů relativní vlhkosti prostředí. Při tomto experimentu bylo zjištěno, že vlhkost prostředí ovlivňuje kladně vodivost pasty. Vlhkost tělesná by tedy mohla kladně ovlivňovat funkčnost klávesnice. Ovšem vodivá vrstva by se nesměla setkat s vlhkostí kapalnou, která by mohla klávesnici zkratovat a zničit.

Po všech těchto měřeních byly jednotlivé vrstvy klávesnice sestaveny a byla zjišťována funkčnost celé klávesnice. Výsledky však ukazovaly, že celá sestava je už nevodivá. Elektrický odpor je díky zamíchaným vláknům a rozpité pastě zvýšený a po spojení dvou vrstev se ještě sčítá. To ho zvyšuje natolik, že se soustava stane nevodivou. I když je vyjmuta dělicí síťovina, která zajišťuje oddělenost vrstev v době nepoužívání klávesnice, stále je soustava nevodivá.

Výsledkem experimentu je tedy fakt, že takovéto spojení materiálů pro výrobu elektricky vodivé textilní struktury je nefunkční.

Pro zlepšení vodivosti takovéto soustavy by mělo být zajištěno několik změn, pokud by se experiment prováděl pomocí síťotisku.

1. Pokud se změní pouze podkladový materiál, mohly by další postupy být zachovány. Neměl by být použit přírodní materiál, aby se předešlo mísení odstávajících vláken s vodivou pastou. Pokud by byl i přesto tento materiál použit, jeho povrch musí být speciálně upraven, aby chloupky neodstávaly. Podkladovým materiálem by mohly být vzorky ze syntetického materiálu, avšak tento materiál nesmí být příliš hladký, musí se zabránit propití pasty na rubní stranu materiálu.

2. Pokud zůstane podkladový materiál stejný, musí být zajištěno lepší natištění vodivé pasty. Toho by se dalo docílit zvýšením počtu vrstev tisku. První vrstva by zachytila veškeré odstávající chloupky, druhá vrstva by pak byla spojitá a plnila by správnou funkci pro průchod elektrického signálu. Při této změně by se však tiskové síto muselo důkladně vyčistit, aby se dalo použít pro druhý tisk, což je velmi obtížné. Nebo by se musela síta vytvořit dvě. Tato metoda by však byla finančně náročnější.

Práce na této diplomové práci byla velice zajímavá a doporučuji zabývat se tímto problémem v dalších diplomových pracích.

Seznam literatury

- [1] Ing. Militký, J., CSc.: Technické textilie, Technická univerzita Liberec 2002
- [2] Hloch, S., Sodomka, L., Valíček, J., Radvanská, A. – Struktura, vlastnosti, diagnostika a technologie textilií, Vydavatelství Michala Vaška, Prešov 2006
- [3] Kolektiv autorů: Výzkumné a vývojové projekty klastru, Technická univerzita Liberec 2006
- [4] Ing. Lizák, P., Ph.D, Prof. Ing. Militký, J., CSc.: Technické textilie, Nadácia pre rozvoj textilného vysokoškolského vzdelávania v Ružomberku 2002

- [5] Softswitch [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.softswitch.co.uk/technology.html>
- [6] Massachusetts Institute of Technology [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.media.mit.edu/physics/publications/theses/99.02.post.pdf>
- [7] Peratech [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.peratech.co.uk/textech.htm>
- [8] Eleksen [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.eleksen.com/index.asp?page=products08/elektexproducts/index.asp>
- [9] Eleksen [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.eleksen.com/index.asp?page=technology08/elektex.asp>
- [10] Logitech [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.logitech.com/index.cfm/172/1475&cl=roeu,en>
- [11] Recenze textilní klávesnice [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
http://www.svethardware.cz/art_docADD56798F3A841BDC1257340057EAD5.html
- [12] Softswitch [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.softswitch.co.uk/technology/bluetooth.html>
- [13] Softswitch [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.softswitch.co.uk/applications/apparel.html#>

- [14] Softswitch [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.softswitch.co.uk/technology/heated.html>
- [15] Eleksen [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
http://66.102.9.104/translate_c?hl=cs&sl=en&u=http://www.elektex.com/&prev=/search%3Fq%3DEleksen%26hl%3Dcs%26lr%3D&usg=ALkJrhjPw0ph15HNppD7nlk4gHxFgcUXfw
- [16] O'Neill [on line]. [cit. 10. 9. 2008].
<http://h2.oneilleurope.com/h2series.html>
- [17] Eleksen [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.eleksen.com/assets/PDFs/datasheets2008/WashableTextileTouchpad.pdf>
- [18] Klávesnice and kalhoty [on line]. [cit. 10. 9. 2008].
<http://www.novinky.cz/clanek/138640-pripojte-se-k-pocitaci-pres-kalhoty.html>
- [19] Klávesnice and kalhoty [on line]. [cit. 10. 9. 2008].
<http://www.emag.cz/kalhoty-pro-geeky/?xx%5Bid%5D=1141382216;3586092828>
- [20] Obleky and elektronika [on line]. [cit. 20. 11. 2008].
http://www.financninoviny.cz/zpravodajstvi/pocitace/index_view.php?id=318649
- [21] IBM Systems Journal [on line]. [cit. 18. 4. 2008].
<http://www.research.ibm.com/journal/sj/393/part3/post.html>
- [22] Strojové vyšívání [on line]. [cit. 21. 4. 2008].
<http://www.mega-dresy.cz/html/vysivky.html>
- [23] Bekaert – vodivé příze [on line]. [cit. 21. 4. 2008].
<http://www.bekaert.com/bft/About%20metal%20fibres/What%20are%20metal%20fibres.htm>
- [24] Bekaert – vodivé příze [on line]. [cit. 21. 4. 2008].
<http://www.bekaert.com/bft/products/Innovative%20textiles/Metal%20fibres%20in%20textiles.htm>

- [25] Bekaert – vodivé příze [on line]. [cit. 21. 4. 2008].
<http://www.bekaert.com/bft/products/Innovative%20textiles/Base%20materials/Yarns.htm>
- [26] Vodivé polymery [on line]. [cit. 15. 4. 2008].
<http://www.vesmir.cz/clanek.php3?CID=5505>
- [27] Polyanilin - vodivé polymery [on line]. [cit. 15. 4. 2008].
<http://www.otevrenaveda.cz/ov/users/Image/default/C1Kurzy/NH2006pdf/16.pdf>
- [28] Sítotisk [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
<http://www.printing.cz/art/tisktechnologie/sitotisk.html>
- [29] Sítotisk [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
<http://martin.feld.cvut.cz/~pelikano/vyuka/EMT/tlustrsvy.pdf>
- [30] Interactive electronic textiles [on line]. [cit. 2. 5. 2008].
<http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-05212002-104138/unrestricted/etd.pdt>
- [31] Inteligentní oděvy budoucnosti [on line]. [cit. 21. 4. 2008].
<http://www.automatizace.cz/article.php?a=678>
- [32] Plazma [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
<http://encyklopedie.seznam.cz/heslo/539733-plazma-fyzika>
- [33] Plazma [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
<http://www.ft.vslib.cz/depart/ktm/zamestnanci/vikova.martina/teaching/8plasma.pdf>
- [34] Sitaservis [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
<http://www.sitaservis.cz>
- [35] Elektrický odpor [on line]. [cit. 30. 4. 2008].
http://centrum.vslib.cz/centrum/centrum/5Normy/IN%2026-401-01_01.pdf
- [36] Digitální multimetr [on line]. [cit. 5. 5. 2008].
http://www.ksh-system.eu/Roman/mereni_fbi/sylab_Elmereni_MP.pdf
- [37] KES – mechanické namáhání na ohyb [on line]. [cit. 5. 5. 2008].
<http://www.kod.vslib.cz/laboratore/Kes/bending.html>

- [38] KES – mechanické namáhání na tlak [on line]. [cit. 5. 5. 2008].
<http://www.kod.vslib.cz/laboratore/Kes/compression.html>
- [39] Fóliové klávesnice [on line]. [cit. 1. 11. 2008].
http://www.ttklavesnice.cz/cs/06_konstrukce-princip-foliove-klavesnice.php
- [40] Technologie Bluetooth [on line]. [cit. 10. 5. 2009].
<http://pabi3.com/blog/zakladni-charakteristika-technologie-bluetooth/>

Další použité odkazy:

<http://www.creativematerials.cz>

<http://sitexim.cz>

Hetzerová, M. – Studie možností aplikace senzorů v oděvech – snímání teploty, vlhkosti, tělesných funkcí osoby, diplomová práce, Technická univerzita v Liberci, Liberec 2006

Seznam obrázků

- Obr. 1 Schematické zobrazení optického vlákna s Braggovými rýhami
- Obr. 2 Tkaná klávesnice Softswitch
- Obr. 3 Vyšíváná klávesnice MIT
- Obr. 4 Příklad uspořádání spojů
- Obr. 5 ElekTex textilní dotykové podložky
- Obr. 6 Způsob zjišťování bodů x a y, celkový pohled
- Obr. 7 Textilní klávesnice Logitech
- Obr. 8 Ukázky zapojení ovládacích tlačítek k přehrávači
- Obr. 9 Ukázky zapojení ovládacích tlačítek k vysílači a vyhřívání
- Obr. 10 Vyhřívání rukavice
- Obr. 11 Bunda Kenpo s tlačítky na rukávu
- Obr. 12 Mikina Zegna s tlačítky na rukávu
- Obr. 13 Sportovní zimní bundy značky O`Neill s integrovanými tlačítky
- Obr. 14 Tlačítka na popruhu batohu firmy O`Neill
- Obr. 15 Trička Urban Tool
- Obr. 16 bundy firmy Spyder
- Obr. 17 Oblek firmy Marks & Spencer a Bagir
- Obr. 18 Způsob zapojení senzoru do oděvu ElekTex
- Obr. 19 Cyklistické kalhoty Pearl Izumi
- Obr. 20 Kalhoty návrháře Erika De Nijse
- Obr. 21 Detail kalhot návrháře Erika De Nijse
- Obr. 22 Vyšívací automaty
- Obr. 23 Průměry kovových vláken v porovnání s lidským vlasem
- Obr. 24 Vodivá příze Bekeart Bekinox
- Obr. 25 Vodivá příze Bekeart Bekinox VN
- Obr. 26 Princip sítotisku
- Obr. 27 Vodivé dráhy vetkané v textilií
- Obr. 28 Kovový hedvábný organtýn
- Obr. 29 Tvorba vrstvy povlaku

- Obr. 30 a) bavlněná tkanina nepokovená, b) bavlněná tkanina s nánosem 1000 nm stříbra, c) bavlněná tkanina s nánosem 1000 nm mědi
- Obr. 31 a) PET tkanina nepokovená, b) PET s nánosem 1000 nm stříbra
- Obr. 32 Jednotlivé vrstvy fóliové klávesnice
- Obr. 33 Jednotlivé vrstvy textilní klávesnice
- Obr. 34 Vodivé cesty dálkového ovládání
- Obr. 35 Návrh vodivé cesty č. 1
- Obr. 36 Vodivé cesty v klávesnici od počítače
- Obr. 37 Jednotlivé vrstvy klávesnice od počítače
- Obr. 38 Nákres složení vodivých drah č. 2 a 3
- Obr. 39 Návrh vodivé cesty č. 2
- Obr. 40 Návrh vodivé cesty č. 3
- Obr. 41 Nákres složení vodivých drah č. 4 a 5
- Obr. 42 Návrh vodivé cesty č. 4
- Obr. 43 Návrh vodivé cesty č. 5
- Obr. 44 Návrh vodivých cest pro výrobu síta
- Obr. 45 Hotové síto
- Obr. 46 Tiskací stůl Johanness-Zimmer mini MDF/752
- Obr. 47 Potištěná textilie ze 100% bavlny
- Obr. 48 Detail potištěné textilie ze 100% bavlny
- Obr. 49 Potištěná textilie ze směsi bavlna/polyester
- Obr. 50 Detail potištěné textilie ze směsi bavlna/polyester
- Obr. 51 Potištěná textilie ze 100% polyesteru
- Obr. 52 Detail potištěné textilie ze 100% polyesteru
- Obr. 53 Digitální multimetr DMM-3800
- Obr. 54 Ukázky jednotlivých vzdáleností měřených multimetrem
- Obr. 55 Příklad mechanického namáhání vzorku na ohyb
- Obr. 56 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 57 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 58 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z rubní strany
- Obr. 59 Vodivá pasta na bavlněném materiálu – pohled z rubní strany

- Obr. 60 Vodivá pasta na směsovém materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 61 Vodivá pasta na směsovém materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 62 Vodivá pasta na směsovém materiálu – pohled z rubní strany
- Obr. 63 Vodivá pasta na směsovém materiálu – pohled z rubní strany
- Obr. 64 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 65 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z lící strany
- Obr. 66 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z rubní strany
- Obr. 67 Vodivá pasta na polyesterovém materiálu – pohled z rubní strany
- Obr. 68 Detail síťoviny
- Obr. 69 Křížení vodivých drah u varianty B
- Obr. 70 Křížení vodivých drah u varianty C
- Obr. 71 Složení vrstev u varianty A
- Obr. 72 Složení vrstev u varianty B
- Obr. 73 Složení vrstev u varianty C
- Obr. 74 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty A
- Obr. 75 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty B
- Obr. 76 Měřené dráhy při stisku jednotlivých tlačítek u varianty C
- Obr. 77 Display digitálního multimetru
- Obr. 78 Klávesnice umístěná ve spodní části předního dílu oděvu
- Obr. 79 Klávesnice umístěná v horní části předního dílu oděvu
- Obr. 80 Klávesnice umístěná na rukávu oděvu

Seznam tabulek

Tab. 1	Druhy textilií použité pro tisk vodivou pastou
Tab. 2	Elektrický odpor naměřený po natištění vzorků
Tab. 3	Elektrický odpor naměřený po mechanickém namáhání vzorků
Tab. 4	Porovnání elektrického odporu po natištění a po mechanickém namáhání vzorků
Tab. 5	Elektrický odpor naměřený po působení 44% relativní vlhkosti prostředí
Tab. 6	Porovnání elektrického odporu po mechanickém namáhání a po působení 44% vlhkosti
Tab. 7	Elektrický odpor naměřený po působení 55% relativní vlhkosti prostředí
Tab. 8	Elektrický odpor naměřený po působení 69% relativní vlhkosti prostředí
Tab. 9	Porovnání elektrického odporu po působení jednotlivých hodnot vlhkosti

Seznam grafů

Graf č. 1	Elektrický odpor vzorků měřený po natištění
Graf č. 2	Elektrický odpor vzorků měřený po mechanickém namáhání na ohyb a tlak
Graf č. 3	Elektrický odpor vzorků měřený po natištění a mechanickém namáhání
Graf č. 4	Elektrický odpor vzorků měřený po působení 44% vlhkosti prostředí
Graf č. 5	Hodnoty elektrických odporů 100% bavlněných vzorků po mechanickém namáhání a působení 44% vlhkosti
Graf č. 6	Hodnoty elektrických odporů směsových vzorků po mechanickém namáhání a působení 44% vlhkosti
Graf č. 7	Hodnoty elektrických odporů 100% polyesterových vzorků po mechanickém namáhání a působení 44% vlhkosti
Graf č. 8	Elektrický odpor vzorků měřený po působení 55% vlhkosti prostředí
Graf č. 9	Elektrický odpor vzorků měřený po působení 69% vlhkosti prostředí
Graf č. 10	Elektrický odpor 100% bavlněných vzorků u jednotlivých vlhkostí
Graf č. 11	Elektrický odpor směsových vzorků vlivem jednotlivých vlhkostí
Graf č. 12	Elektrický odpor 100% polyesterových vzorků u jednotlivých vlhkostí

Příloha č. 1

Tiskací vodivá pasta 112 – 15

Viskozita (počet znaků/cyklů za sekundu)	28 000 – 30 000
Výplň	stříbro
Podíl stříbra	> 84 %
Odolnost vůči zvrásnění	vynikající
Objemová rezistence [$\Omega \cdot \text{cm}$]	0,00003
Měrný odpor vrstvy [$\Omega \text{ mm}^{-2}$]	0,01
Hydrolytická stálost	vynikající
Použitelné teplotní rozpětí °C	-55 až 200

Rozpouštědlo THINNER 112 – 19

Bod varu	> 190 °C
Tlak nasycených par při 20 °C	0,2 mm Hg
Vzhled	čirá tekutina
Pach	sladce vonící tekutina
Specifická hustota látky (voda = 1 g cm ³)	1,09 g cm ³
Rozpustnost ve vodě při 20 °C	5,3 %
Hustota par	nestanovena
Míra vypařování	< 0,1

Příloha č. 2

Digitální Multimetr DMM 3900



Snadno ovladatelný, kompaktní, bateriový ruční digitální měřicí přístroj s velkým 3,5 místným displejem a manuálním přepínačem rozsahů. Je vybaven ochranou proti přetížení.

DC napětí: 500 V

AC napětí: 750 V

DC proud: 20 A

AC proud: 20 A

Odpor: 20 MΩ

Měření tranzistorů: ANO

Test diod: ANO

Akustický test: ANO

Volba rozsahů: manuální

Rozměry: 172 x 88 x 36 mm

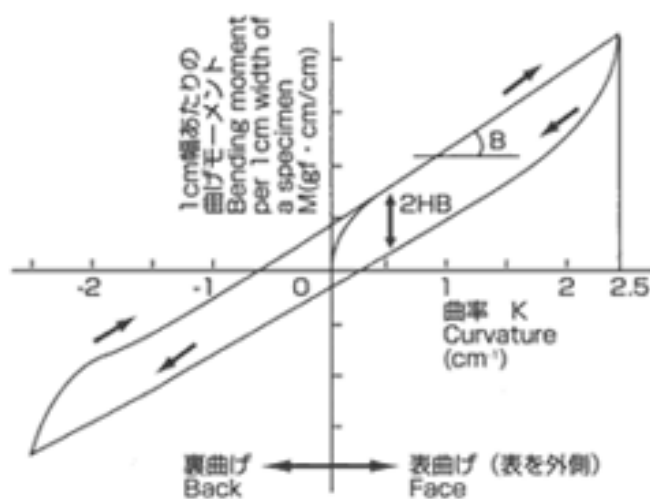
Napájení: baterie 9 V

Displej: 3,5 místný

Příloha č. 3

Automatic Pure Bending Tester - KES-FB2

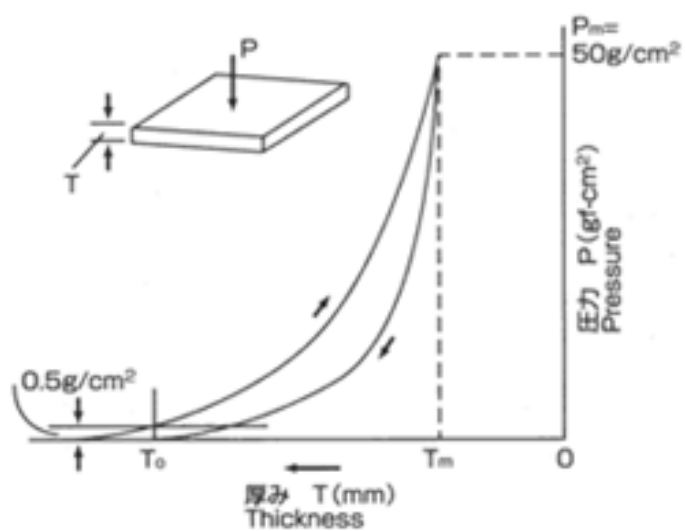
Přístroj je nový automatický model pro testování ohybových vlastností (ohybová tuhost, ohybový moment) textilií, netkaných textilií, přízí.



Příloha č. 4

Automatic Compression Tester - KES-FB3

Přístroj je nový automatický model pro testování kompresních vlastností jako tloušťky, stlačitelnosti textilií a fólií.



Příloha č. 5

Použité materiály

Materiál č. 1:

Typ – sypkovina
Barva – bílá
Vazba – plátňová
Materiál – 100% bavlna
Dostava – 37 osnovních nití/cm
 33 útkových nití/cm
Úprava – kalandrování

Materiál č. 2:

Typ – sypkovina
Barva – světle modrá
Vazba – plátňová
Materiál – 50% bavlna/50% polyester
Dostava – 37 osnovních nití/cm
 33 útkových nití/cm
Úprava – kalandrování

Materiál č. 3:

Typ – podšívka
Barva – tmavě modrá
Vazba – plátňová
Materiál – 100% polyester
Dostava – 45 osnovních nití/cm
 29 útkových nití/cm
Úprava – žádná

Materiál č. 4:

Typ – síťovina

Výroba – osnovní pletenina

Materiál – 100% polyamid

Velikost ok – 1,5 mm

Materiál č. 5:

Typ – Vodivá fólie

Určení – oboustranně lepivá fólie pro elektroniku

Tepelná vodivost – 0,6 W/m-K

Tloušťka fólie – 0,25 mm

Objemová rezistivita – $3,9 \cdot 10^{11}$

Příloha č. 6

Jednotlivé druhy vodivých cest